



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## SYSTÉM VZDÁLENÉHO MONITOROVÁNÍ TEPLoty

REMOTE TEMPERATURE MONITORING SYSTEM

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Gál

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

BRNO 2018

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**  
Ústav mikroelektroniky

**Student:** Bc. Radek Gál

**ID:** 125141

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Systém vzdáleného monitorování teploty

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte zařízení pro vzdálené monitorování teploty uskladněných živočišných komodit. Hlavní jednotka bude vybavena nezbytnými indikačními prvky, nevolatilní pamětí pro ukládání naměřených dat a bude umožňovat vzdálenou kontrolu dat pomocí ethernetového rozhraní. Dále bude bezdrátově komunikovat s několika nezávislými externími snímači. Každý snímač bude napájen bateriově, navrhněte efektivní komunikační protokol pro sběr dat při minimální spotřebě. Na základě HW návrhu vytvořte DPS, osadte a oživte. Navrhněte a vytvořte řídicí SW mikrokontroléru a potřebné webové rozhraní. Dále vytvořte mechanickou konstrukci vhodnou do venkovního prostředí a realizovaný systém otestujte.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 14.6.2018

**Termín odevzdání:** 20.8.2018

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Lukáš Fajčík, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá návrhem systému pro monitorování teploty vzdáleného uskladněného množství komodit pro chov koní. Úkolem navrženého systému je včasné upozornění pro zabránění rizika požáru samovznícením a zajištění dálkového dohledu uskladnění těchto komodit.

Měřicí ústředna komunikuje s několika autonomními teplotními snímači. Získaná data jsou zobrazena na displeji a přenášena Ethernetovou sítí na server, kde je možné prohlížečem sledovat naměřené teploty a jejich grafické průběhy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bezdrátová komunikace, Ethernet, měření teploty, měřicí ústředna, mikrokontrolér.

## **ABSTRACT**

This project describes the design of the system for remote temperature monitoring of stored goods for horse-breeding. The main task of this system is the early alert before the fire developed to spontaneous combustion and continuous monitoring of this commodities ..

The control panel communicates with several autonomous temperature sensors. The measured values are displayed on the display and transmitted over the Ethernet network to a server where monitored temperatures and their graphical waveforms can be viewed.

## **KEYWORDS**

Ethernet, measurement switchboard, microcontroller, temperature measurement, wireless communication.

Gál R. *Systém vzdáleného monitorování teploty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2018. 48 s., 7 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Systém vzdáleného monitorování teploty jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 20. srpna 2018

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Pavlíkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 20. srpna 2018

.....

(podpis autora)

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072  
**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

# OBSAH

1. ROZBOR PROBLEMATIKY.....	6
1.1. Charakteristika samovznícení.....	6
1.1.1. Fyzikální samovznícení.....	6
1.1.2. Chemické samovznícení.....	7
1.1.3. Biologické samovznícení.....	7
1.1.4. Charakteristika látek.....	8
1.1.5. Problematika měření teploty a vlhkosti.....	9
1.1.6. Požadavky na zabezpečení požární ochrany.....	9
1.2. Běžně používané prostředky.....	9
1.2.1. Farmex HT-PRO.....	10
1.2.2. Bezdrátový měřič teploty TME Radio.....	10
1.3. Legislativa pro bezdrátový přenos.....	11
2. NÁVRH SYSTÉMU.....	13
2.1. Měřicí snímač.....	14
2.1.1. Teplotní senzory.....	15
2.1.2. Rádiový modul.....	18
2.1.3. Mikrokontrolér ATmega88A.....	22
2.1.4. Napájení snímače.....	23
2.2. Měřicí ústředna.....	25
2.2.1. Mikrokontrolér ATmega128A.....	26
2.2.2. Modul Xport.....	26
2.2.3. LCD Displej.....	28
2.2.4. RTC obvod PCF8563 a EEPROM 24LC64.....	29
2.2.5. Zdroj napájení.....	30
3. Programové vybavení.....	33
3.1. Protokol bezdrátového přenosu.....	33
3.2. Ošetření kolizí.....	35
3.3. Program pro snímač.....	36
3.4. Program pro ústřednu.....	37
4. Realizace sestavy.....	38
4.1. Konstrukce.....	38
4.2. Testování a měření.....	41

4.2.1. Měření teploty.....	41
4.2.2. Přesnost měření baterie.....	42
4.2.3. Spotřeba snímače.....	43
ZÁVĚR.....	46
LITERATURA.....	47
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....	49



# SEZNAM OBRÁZKŮ

# SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1: Charakteristika látek [1].....	8
Tabulka 1.2: Nejčastěji používaná pásma [4].....	12
Tabulka 2.1: Srovnání parametrů vybraných teplotních senzorů.....	15
Tabulka 2.2: Význam vývodů DS7505.....	17
Tabulka 2.3: Význam vývodů RFM22.....	19
Tabulka 2.4: Maximální spotřeba použitých komponentů.....	31
Tabulka 3.1: Struktura datového paketu snímače.....	34
Tabulka 3.2: Struktura potvrzovacího ACK paketu od hlavní jednotky.....	35
Tabulka 4.1: Hodnoty napájecího napětí snímače.....	43
Tabulka 1: Spotřeba snímače při různých režimech.....	43

# ÚVOD

Pro chov hospodářských zvířat je důležité zajistit dostatek pitné vody, krmiva a kvalitní objemné povrchové podestýlky, která je pomáhá udržet v teple a pohodlí. Proto je nezbytné mít připravené větší množství těchto látek. Přestože se to na první pohled nemusí zdát, uskladnění těchto materiálů vyžaduje pozornost. Zejména u organických materiálů, jako jsou obiloviny, sláma, seno, nebo dřevěné piliny, může dojít vlivem působení mikroorganismů a vlhkosti k biologickému samovznícení, které vede k požáru a následným vysokým materiálními škodám. Pokud jsou tyto materiály skladovány v blízkosti zvířat, pak pochopitelně i k ohrožení jejich života. O doutnání sena, slámy apod., které může kdykoliv přejít k požáru, se lze dočíst poměrně často. Procesy, které tyto jevy podporují, netrývají krátce, ale řádově dny až týdny.

Úkolem této práce je provést rozbor dané problematiky a navrhnout prototyp systému pro sledování teploty uskladněných komodit pro chov koní. Hlavním účelem zařízení je dlouhodobě sledovat teplotu v těchto materiálech pro zabránění, resp. včasné odhalení rizika samovznícení, aniž by byla vyžadována fyzická přítomnost obsluhy, která by toto měření musela provádět. Navržený systém bude schopen provádět sběr naměřených dat pomocí několika vpichovacích snímačů rozmístěných po uskladněných látkách, tyto veličiny dále přenášet do vzdálené měřicí ústředny, kde budou primárně vyobrazeny na LCD displeji a z měřicí ústředny dále přenášeny na webový server pro přístup odkudkoliv a v kteroukoliv dobu. Cílem je tedy navrhnout a sestavit jednoúčelové zařízení pro potřeby zemědělců a chovatelů. Navržený systém může sloužit i jako základ složitějších senzorových systémů.

První část práce charakterizuje nebezpečí samovznícení hořlavých a organických látek, pojednává o možných příčinách a jsou zmíněna preventivní opatření. Dále jsou prostudovány některé běžně používané systémy a zhodnoceny jejich nedostatky.

Další část definuje požadavky, navrhuje celkovou koncepci zařízení a je proveden výběr optimálních komponentů pro realizaci prototypu. Jsou prostudovány možnosti a způsob bezdrátové komunikace mezi měřicí ústřednou a jednotlivými snímači.

Další část popisuje ovládací programy v ústředně a ve snímačích. Je zde popsán i způsob jejich vzájemné komunikace.

Poslední část popisuje realizaci, otestování a zhodnocení dosažených parametrů výsledného zařízení.

# 1. ROZBOR PROBLEMATIKY

## 1.1. Charakteristika samovznícení

Samovznícení je proces [1], ke kterému dochází při samozahřívání hořlavé látky důsledkem tepelného úniku, ke kterému dochází při zvyšování teploty u lokálně probíhajících exotermických interních reakcích. Podstatou samozahřívání je, pokud množství vzniknutého tepla je větší než množství do okolí odváděného tepla.

Každý proces samovznícení může probíhat různě rychle, řádově minuty pro organokovové sloučeniny, hodiny (textil nasáknutý lněným olejem), dny (nitrocelulóza, obiloviny), týdny (seno, sláma) až měsíce (piliny, dřevěné pelety, hnědé uhlí...).

Podle podílu procesu zvyšování teploty v počátcích samozahřívání rozlišujeme samovznícení na:

- Fyzikální
- Chemické
- Biologické

### 1.1.1. Fyzikální samovznícení

Typickým příkladem tohoto typu je samovznícení uhlí, které způsobuje absorpce plynů a par na povrchu uhelné hmoty. Následuje nárůst teploty na kritickou mez, která je přibližně 65 °C a při které začíná oxidovat uhlí a proces přechází do samovznícení. Tomu napomáhá:

- skladování ve větším množství
- nestejněměrná zrnitost (přítomnost prachu)
- vlhkost

Za ohnisko samovznícení je považováno místo, kde teplota dosáhla 65 °C, nebo kde se teplota během 24 hodin zvyšuje o více než 3°C.

K fyzikálnímu samovznícení může dojít i okolním ohřevem látky (např. tepelné samovznícení dřeva, pilin, kalafuny, bavlny, tabáku, papíru, celuloidu apod.) nebo úderem (např. třaskaviny).

### **1.1.2. Chemické samovznícení**

K chemickému samovznícení dochází stykem dvou nebo více látek, při němž probíhá exotermická reakce a uvolňuje se velké množství tepla.

Tyto chemické děje jsou vyvolány:

- stykem látky s kyslíkem (u látek samozápalných na vzduchu, jako např. bílý fosfor)
- stykem s vodou (sodík, draslík a jejich sloučeniny)
- stykem s oxidačními činidly, přičemž tato činidla mohou značně snížit teplotu vznícení až na okolní teplotu)

### **1.1.3. Biologické samovznícení**

K biologickému samovznícení jsou náchylné rostlinné materiály, jako je seno sláma, luskoviny, obilniny apod.

Podstatou biologického samovznícení je nerovnoměrně rozložená vlhkost, která přispívá k postupnému nárůstu teploty v důsledku činnosti mikroorganismů (bakterií), které vedou k ohřívání vrstvené hmoty. Při teplotě asi 70 °C začnou bakterie odumírat. Tato teplota je však už dostačující pro rozpad některých jednodušších rostlinných látek, z nichž vzniká uhlík. Uhlík dále funguje jako v případě uhlí - oxiduje, a tím zvyšuje teplotu látky, vzniká další uhlík a při teplotě 250 až 300 °C pak dojde ke vznícení rostlinné hmoty.

Podmínky pro biologické samovznícení jsou:

- vlhkost (za suché je považováno seno s maximálním obsahem vlhkosti 16 %)
- uskladnění většího množství pohromadě (minimálně asi 3000 kg, tj 35 m<sup>3</sup>)
- minimální doba uskladnění (8 až 10 dnů)
- nerovnoměrné rozložení vlhkosti (různorodá jakost vrstvené hmoty)

Je tedy zřejmé, že k samovznícení běžných hořlavých látek přispívá působení běžných vnějších vlivů, jakými jsou styk s kyslíkem, absorpce vlhkosti, působení bakterií nebo zvýšená okolní teplota.

#### 1.1.4. Charakteristika látek

Konkrétním požadavkem v této práci je zajistit sledování sena, slámy a dřevěných pilin, které jsou uskladněny a používány pro chov koní. V tabulce 1.1 jsou popsány charakteristické vlastnosti těchto látek [1]:

*Tabulka 1.1: Charakteristika látek [1]*

Parametr / látka	Seno	Sláma	Smrk. piliny
Hustota	70 kg/m <sup>3</sup>	80 kg/m <sup>3</sup>	80 kg/m <sup>3</sup>
Vlhkost	8 %	7 %	5-8 %
Teplota vznícení	330 °C	310 °C	347 °C
Teplota samovznícení	70 °C	80 °C	80 °C
Teplota žhnutí	204 °C	210 °C	220 °C
Teplota hoření	204 °C	200 °C	229 °C

##### **Seno :**

Vlhké seno skladované ve větším množství je náchylné k biologickému samovznícení. Je možné i chemické samovznícení působením oxidačních prostředků. Seno lze lehce zapálit jiskrou nebo stykem s plochami a předměty s teplotou vyšší než 60 °C. Biologické samovznícení lze omezit přidáním 400 g kuchyňské soli na 100 kg sena.

##### **Sláma :**

Je náchylná k fyzikálnímu, chemickému i biologickému samovznícení. Slámu lze rovněž lehce zapálit jiskrou nebo stykem s horkými předměty.

##### **Smrkové piliny :**

Již při vlhkosti nad 30 % může dojít k biologickému samovznícení. Piliny lze lehce zapálit jiskrou a stykem se zdroji teploty větší než 100 °C a je možné i samovznícení působením silných kyselin.

### **1.1.5. Problematika měření teploty a vlhkosti**

Jak už bylo zmíněno, měření je prováděno v nitru uskladněné látky a v případě samovznícení jde o procesy relativně pomalé. V případě biologického samovznícení by se mohlo zdát, že je vyžadováno rovněž měření vlhkosti uskladněné látky. Řešením by bylo použití kombinace elektronického snímače teploty a vlhkosti, avšak takováto metoda je neobjektivní, protože by se jednalo spíše o zjišťování okolní vlhkosti mezi „jednotlivými zrny či stébly“, nikoliv o vlhkost obsaženou přímo v jejich nitru. Na to existují nepřímé speciální metody a postupy (např. rozemletí zrna, vážení před a po vysušení), které jsou spolehlivější a vycházejí ze zkušeností zemědělců a chovatelů. Z podstaty problematiky vyplývá, že je důležité zaměřit se především na sledování teploty v nitru uskladněné látky.

### **1.1.6. Požadavky na zabezpečení požární ochrany**

Každý sklad musí být zabezpečen před vniknutím cizích osob, jakákoliv manipulace s otevřeným ohněm je nepřípustná. Veškerá elektrická kabeláž musí být chráněna před mechanickým poškozením, elektrická zařízení před vniknutím cizích těles, která by mohla způsobit požár. Uskladněná hmota musí být chráněna před vlhkostí. Je nutné provádět pravidelná měření teplot uskladněných hmot a naměřené hodnoty zaznamenávat. Teplota se měří tepelnými čidly nebo hloubkovými teploměry nejméně v polovině výšky naskladněné hmoty, přičemž měřicí místa se musí průběžně měnit. Měřicí místa a způsob jejich střídání určí zodpovědný pracovník v závislosti na objemu látky. Hmota se musí měřit nejméně 1x za 24 hodin, u klasického teploměru je snímací část ponechána minimálně 10 minut. Při naměření 45 °C až 65 °C je nutné věnovat zvýšenou pozornost, měření opakovat v krátkých intervalech a připravit opatření pro vyskladnění a ochlazování přehřáté hmoty. Při naměřené teplotě nad 65 °C je nutné přehřátou hmotu okamžitě vyskladnit a ochladit. Překontrolovanou hmotu je možné vrátit do skladu. V extrémních případech při naměřené teplotě nad 90 °C ihned hmotu vyskladnit za asistence jednotky HZS.

## **1.2. Běžně používané prostředky**

Z předchozí části vyplývá, že k samovznícení dochází při určitých procesech k postupnému nárůstu teploty skladované látky. Přímý vzdálený dohled uskladněných zemědělských komodit se nepodařilo setkat se s vhodným prostředkem minimálně co se týče dostupnosti v ČR. Jako možnou alternativu však lze použít tyčový vpichovací teploměr [2] nebo bezdrátový měřič teploty [3], které budou dále představeny.

### 1.2.1. Farmex HT-PRO

Tyčový vpichovací teploměr a vlhkoměr Farmex HT-PRO (obr. 1.1) je určen ke zjišťování teploty a vlhkosti v balících sena a slámy. Přístroj disponuje dvouřádkovým podsvíceným displejem a dokáže z více uložených hodnot vypočítat průměrnou vlhkost a teplotu v balíku, pokud se provádí měření na více místech. Napájení zajišťuje destičková 9 V baterie, rozsah měřené teploty je 0-99 °C, vlhkosti 8-30 %, výrobce udává přesnost 0,1 °C pro teplotu a  $\pm 1,5$  % pro vlhkost [2].



*Obr. 1.1: Tyčový teploměr Farmex HT-PRO [2]*

Vzhledem k tomu, že se jedná o samostatný přístroj, je vhodný spíše pro lokální zjišťování, kde je vyžadována přítomnost obsluhy. V případě monitorování většího množství uskladněné látky je nezbytné provádět měření na více místech, což je časově náročné, pokud má být ještě vyhověno výše popsaným požadavkům.

Cena přístroje se pohybuje okolo 9 500,- Kč. Na trhu existuje spousta variant a modifikací tohoto přístroje, lišící se konstrukcí, principem (nejlevnější s analogovou stupnicí, založené na bimetalu nebo elektronické), rozsahem, přesností a podpůrnými funkcemi. Hlavní nevýhodou je nemožnost dálkového monitorování.

### 1.2.2. Bezdrátový měřič teploty TME Radio

Jedná se o autonomní bezdrátový systém měření teploty, pracující v pásmu 868 MHz. Systém se skládá z bezdrátové ústředny TME Radio (obr. 1.2), která nashromážděná data odesílá prostřednictvím Ethernetového rozhraní na server, kde mohou být vhodným způsobem



ukládána a zpracovávána, a ze soustavy rádiových teplotních senzorů TMW. Soustavu lze doplnit měřičem vlhkosti, který je obdobné konstrukce jako TMW.

K základně může být připojeno současně 32 senzorů, výrobce zaručuje dosah 100 m. Rozsah měřené teploty je  $-40$  až  $+125$  °C s přesností 0,5 °C. Napájení senzoru zajišťuje baterie CR123A, výdrž baterie je garantována 3 roky.



*Obr. 1.2: Bezdrátový měřič teploty TME Radio [3]*

Tento systém postrádá vizuální rozhraní, kterým by bylo možné na místě zjistit aktuální teplotu – konfiguraci, případně diagnostické menu, náhled teplot zde probíhá pouze přes webové rozhraní, pro kontrolu je tedy zapotřebí PC nebo notebook s připojením. Další nevýhodou je nevhodná konstrukce měřících senzorů, v tomto případě by vyhovovala tyčová sonda podobná předchozímu příkladu. Uvedený systém je vhodný spíše pro vnitřní sklady.

### **1.3. Legislativa pro bezdrátový přenos**

V kmitočtovém spektru jsou vymezena volná bezlicenční pásma označená zkratkou ISM (Industrial, Scientific, Medical), tedy pásma určená pro použití v průmyslovém, vědeckém a lékařském rádiovém vysílání, ve kterých je povolen provoz homologovaných rádiových zařízení. Tato pásma lze za určitých podmínek používat bez individuálního oprávnění k využívání rádiových kmitočtů. Veškerá dostupná kmitočtová pásma včetně vysílacích výkonů se liší dle jednotlivých států a regionů. V České republice se o správu ISM pásma stará Český telekomunikační úřad [4]. Tabulka 1.2 uvádí nejpoužívanější kmitočtová pásma provozovaná v ČR.

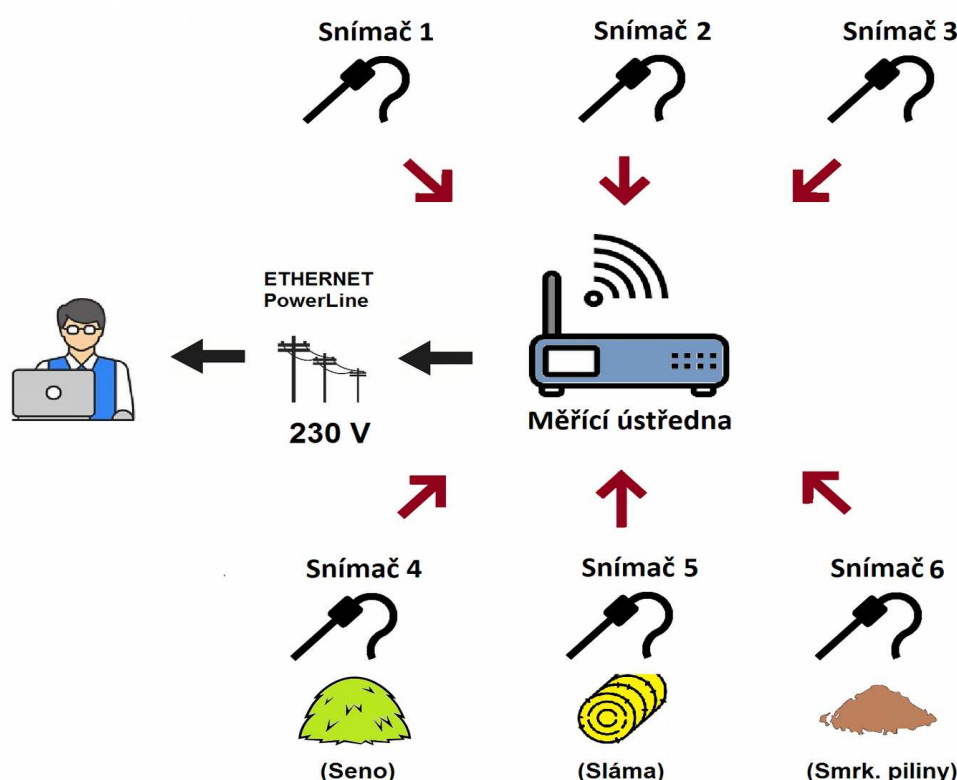
Nejpoužívanější bezlicenční kmitočtová pásma vyplývají z tabulky 1.2, jsou to: 433 MHz, 868 MHz a 2,4 GHz. Pásmo 2,4 GHz bývá zpravidla využíváno k provozování Wifi sítí a Bluetooth, vzhledem k vytíženosti je vhodnější využití pásma 433 MHz nebo 868 MHz. Podle všeobecných oprávnění u provozovaných zařízení krátkého dosahu je maximální vyzařovaný výkon stanoven na hodnotu 10 mW pro kmitočtové pásmo 433 MHz a na hodnotu 25 mW pro kmitočtové pásmo 868 MHz [5]. Pásmo 433 MHz bývá využíváno pro krátké a střední vzdálenosti přibližně do 300 m. Nicméně toto pásmo je velmi vytížené a může zde opět docházet ke vzájemnému rušení s ostatními zařízeními sdílející tento kmitočet. Oproti tomu předpisy pro pásmo 868 MHz jsou více omezující než předpisy pro 433 MHz. Zařízení provozovaná v tomto pásmu spolu komunikují na vzdálenost až 500 m. Interference s jinými zařízeními jsou v tomto případě více redukovány, čímž je zajištěna vyšší spolehlivost přenosu informací.

*Tabulka 1.2: Nejčastěji používaná pásma [4]*

<b>Frekvence</b>	<b>Poznámka</b>
27 MHz	Provoz je možný
49 MHz	Provoz je nepřipustný
230 – 400 MHz	Pásmo určené pro obranu státu
433 MHz	Provoz je možný
470 – 862 MHz	Omezeně provoz bezdrátových mikrofónů
868 – 870 MHz	Provoz je možný
870 – 960 MHz	Provoz mobilních telefonů GSM
2,4 GHz	Provozování zařízení krátkého dosahu, nutnost dodržení stanoveného výkonu

## 2. NÁVRH SYSTÉMU

Konkrétním požadavkem systému je nepřetržitý dohled teploty uskladněné slámy, sena a dřevěných pilin, přičemž tyto látky jsou od sebe vzájemně vzdáleny a jedná se o balíky, respektive loženou hromadu uskladněnou v přístřeškovém skladu o rozměrech přibližně 2x2x3 m. Snímač se skládá z hlavice, ve které je umístěn plošný spoj s elektronikou a připevněnou snímací částí tvořenou nerezovou dutou kulatinou zakončenou hrotem, který bude zapichován do pozorované látky a ve které je umístěn teplotní senzor. Každá látka je monitorována dvěma snímači pro zajištění větší homogenity, celkem je tedy uvažováno šest snímačů, které komunikují na větší vzdálenost s měřicí ústřednou. Vzhledem k tomu, že v prostoru mohou volně pobíhat zvířata, je pokládka kabeláže nepřijatelná.



Obr. 2.1: Koncepce systému

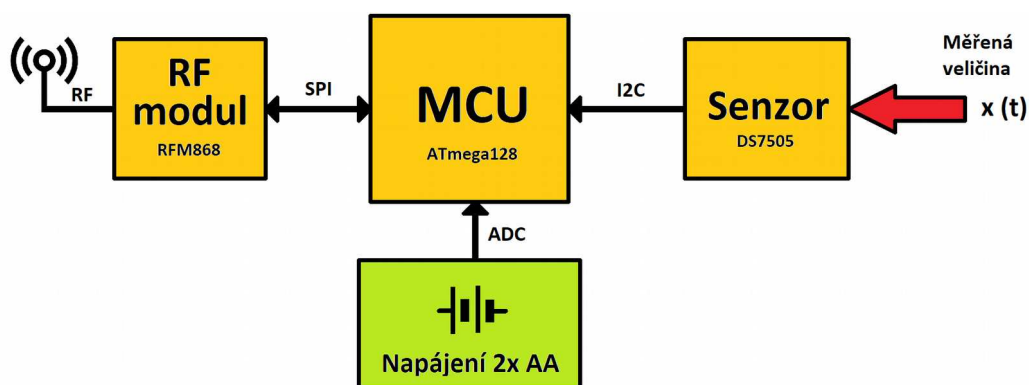
Celá koncepce systému je znázorněna na obrázku 2.1. Snímače musí mít z hlediska provozu co nejvyšší spolehlivost a přitom co nejnižší spotřebu. Nároky na ústřednu jsou stejné, ale spotřeba již není tak kritická. Rozsah teploty měřené snímači je stanoven od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pokud dojde ke zjištění překročení teploty nad stanovenou mez, měřící bod musí nahlásit problém hlavní jednotce. Vzhledem k relativně malému gradientu snímaných teplot bude perioda měření a vysílání snímačů nastavitelná v rozmezí 1-60 minut. Je potřeba experimentálně zvolit kompromis mezi vlastní spotřebou. Každý snímač musí mít přehled o stavu svého napájecího článku, aby vyčerpaný článek mohl být zavčas

vyměněn. Tyto hodnoty jsou periodicky odesílány měřicí ústředně, která provádí příjem, vyhodnocení, ukládání a zobrazení na displeji. Aby bylo možné přistupovat ke zjištěným údajům v kteroukoliv dobu odkudkoliv, tedy nejen v dosahu ústředny, je tato jednotka vybavena Ethernetovým rozhraním, ke kterému je zajištěn přístup po místní elektrické síti 230V pomocí adaptéru Powerline. To znamená, že po rozvodu 230V je kromě přenosu elektrické energie zprostředkován rovněž datový přenos stejně jako v klasické počítačové síti.

Pro výsledný systém se předpokládá celoroční nepřetržitý provoz, měl by tedy vydržet celoroční klimatické podmínky. Dále se předpokládá jednoduchost použití a možnost rozšíření o další snímače.

## 2.1. Měřicí snímač

Měřicí snímač (obr. 2.2) se skládá z vhodného teplotního senzoru, který převádí měřenou teplotu na elektrický signál. Ten je dále zpracováván mikrokontrolérem do podoby vhodné k bezdrátovému přenosu. O napájení se starají alkalické články. Společně s naměřenou teplotou se přenáší i informace o napětí těchto článků. Pro maximální úsporu energie dochází v době nečinnosti k vypnutí RF modulu a usnutí mikrokontroléru. Mikrokontrolér je periodicky probouzen vnitřním časovačem. Po probuzení dojde ke změření teploty, napětí baterie, odeslání těchto údajů nadřazené hlavní jednotce a opětovnému usnutí.



Obr. 2.2: Blokové schéma měřicího snímače

Bezdrátová komunikace se používá pro spojení dvou a více zařízení, pokud je nemožné nebo nežádoucí použití běžného kabelového spojení.

Mezi výhody tohoto řešení patří mobilita a jednoduchá instalace, čímž odpadá nutnost pracné instalace kabeláže. V některých případech může hrozit i riziko poškození kabeláže.

Nevýhodou je zejména potřeba vlastního napájení pro každý použitý senzor. Tyto prostředky se musí vybavit bateriemi nebo akumulátorem, a tím správně zvolit jejich kapacitu s ohledem na vlastní spotřebu každého senzoru k dosažení dostatečně dlouhých intervalů jejich výměny. Další možností je jednotlivé senzory napájet přímo ze sítě v místě jejich

umístění, nicméně toto řešení omezuje jejich mobilitu. Rovněž je vyžadován složitější a tím i dražší návrh takovýchto prostředků, avšak z pohledu potřeby sběru dat z více vzdálenějších míst bývá toto řešení mnohdy jednodušší a efektivnější.

### 2.1.1. Teplotní senzory

Existuje velké množství teplotních senzorů, které se vzájemně liší rozsahem, rozlišením, přesností, spotřebou a cenou. Teplotní senzor bude umístěn ve 150 cm dlouhé nerezové kulatině. Vzhledem k umístění senzoru je žádoucí, aby měl co nejmenší rozměry, pro realizaci kabelovým připojením je vyžadován minimální počet připojovacích vodičů. Další podmínkou je možnost rozšíření o několik dalších senzorů rozmístěných rovnoměrně po délce kovové kulatiny. Prozatím je počítáno s celkovým počtem 3 senzorů. Vzhledem k dlouhodobému provozu je vyžadována co nejnížší spotřeba jak v aktivním, tak především v klidovém režimu a vyšší rychlost převodu teploty. Přesnost není vyžadována příliš kritická, jde především o postupné zjišťování nárůstu teploty, rozlišení vyhovuje 0,5 °C. Vybíráno je z následujících variant (tab. 2.1):

Tabulka 2.1: Srovnání parametrů vybraných teplotních senzorů

Parametr:	NTC 10k	DS18B20	DS7505
Napájecí napětí	> 0 V	3 – 5,5 V	1,8 - 3,7 V
Max. spotřeba v akt. režimu	0,3 mA	1,5 mA	0,75 mA
Max. spotřeba v klid. režimu	0	1 uA	2 uA
Teplotní rozsah	-40 – 125 °C	-55 – 125 °C	-55 – 125 °C
Přesnost	±1 °C	±2 °C	±2 °C
Rozlišení	10 b <sup>1</sup>	9 - 12 b	9 – 12 b
Doba převodu	67 us <sup>1</sup>	94 – 750 ms	25 – 200 ms
Výstup	Analogový	1-Wire	I2C
Pouzdro	-	TO92	SOIC8

<sup>1</sup> Dle použitého A/D převodníku ATMEGA88

**Termistor NTC 10k** využívá závislosti odporu na teplotě se záporným teplotním součinitelem. Jedná se o velmi levné řešení a jednoduché připojení. Závislost odporu termistoru na teplotě lze vyjádřit vztahem:

$$R_T = R_0 \cdot e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (1)$$

kde platí:

$R_0$  [Ω] je odpor při  $T_0$  [K]

$R_T$  [Ω] je odpor při  $T$  [K]

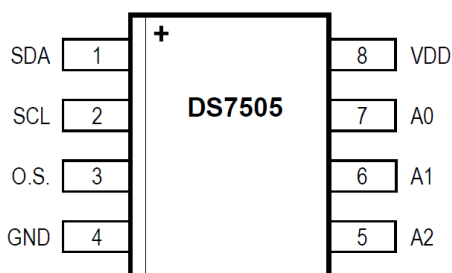
$B$  je konstanta udávaná výrobcem termistoru

Hodnota odporu tohoto termistoru je 10 k $\Omega$  při 25 °C, rozlišení závisí na použitém A/D převodníku. Výhodou tohoto senzoru je možnost provozu i při nižších napájecích napětích a velmi nízká spotřeba. K připojení postačí dva vodiče. Nelinearita se musí vhodným způsobem kompenzovat. Největší nevýhodou je nutnost kalibrace. Protože NTC je vyráběn mnoha výrobci, liší se jednotlivé typy konstantou B a je tedy nutné pro každý typ zvlášť kalibrace. Pokusy s použitím NTC ukázaly vzájemný rozdíl až 5 °C mezi jednotlivými typy od různých výrobců při stejné uvažované konstantě. Při rozšiřování měřicího snímače o další senzory by muselo být zaručeno použití termistorů od stejného výrobce.

**DS18B20** je rozšířený digitální senzor s volitelným 9 – 12-bitovým rozlišením a přesností  $\pm 2$  °C při plném rozsahu, případně  $\pm 0,5$  °C v omezeném rozsahu. Tento senzor komunikuje s okolím číslíkově pomocí sběrnice 1-Wire a je vždy typu Slave. Doba převodu při 9-bitovém rozlišení se pohybuje okolo 94 ms, při nejvyšším 12-bitovém rozlišení pak 750 ms. Výhodou je poměrně jednoduchá obsluha (pouze naprogramování 1-Wire protokolu, pro který jsou volně dostupné knihovny) a jednoduchost připojení, ke kterému stačí tři, eventuálně dva vodiče. Na tuto sběrnici lze současně připojit větší množství těchto senzorů. U tohoto senzoru odpadá nutnost kalibrace, nevýhodou je však potřeba vyššího napájecího napětí, které se pohybuje od 3 V výše. Senzor je dodáván v pouzdrech TO-92, 8-pin uSOP a 8-pin SO.

**DS7505** je rovněž digitální senzor s volitelným 9 – 12-bitovým rozlišením a přesností  $\pm 2$  °C při plném (-55 až +125 °C), respektive  $\pm 0,5$  °C při omezeném (0 až +70 °C) rozsahu. Komunikace probíhá prostřednictvím sběrnice I2C, připojení vyžaduje celkem čtyři vodiče. Doba převodu rovněž závisí na použitém rozlišení, pohybuje se od 25 ms pro 9-bitové rozlišení, pro 12-bitové rozlišení je doba převodu 200 ms. Tento senzor je v teplotním rozsahu, přesností a rozlišením srovnatelný s předchozím typem, největší výhodou je možnost provozu při napájecím napětí již od 1,7 V.

S ohledem na napájení senzoru, jeho vzdálenost a přesnost byl pro snímání teploty zvolen senzor DS7505. Na obr. 2.3 je rozložení vývodů, v tab. 2.2 jejich popis.



Obr. 2.3: Rozložení vývodů DS7505 [7]

Tabulka 2.2: Význam vývodů DS7505

Označení	Popis
VDD	Napájecí napětí 1,7 – 3,7 V
GND	Zem
SDA	I2C data
SCL	I2C hodiny
A0, A1, A2	Adresovací vstupy
O.S.	Výstup s otevřeným kolektorem

Tento snímač obsahuje přímé digitální měření teploty s nastavitelným rozlišením 9 – 12 bitů. To odpovídá 0,5; 0,25; 0,125 nebo 0,0625 °C. Výchozí tovární rozlišení při zapnutí napájení je 9 bitů, tedy 0,5 °C, nastavení rozlišení se provede zápisem kombinace bitů R1 a R0 v konfiguračním registru. Tím se úměrně násobí základní doba převodu 25 ms pro každý další bit rozlišení.

	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
MS Byte	S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
LS Byte	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>	0	0	0	0

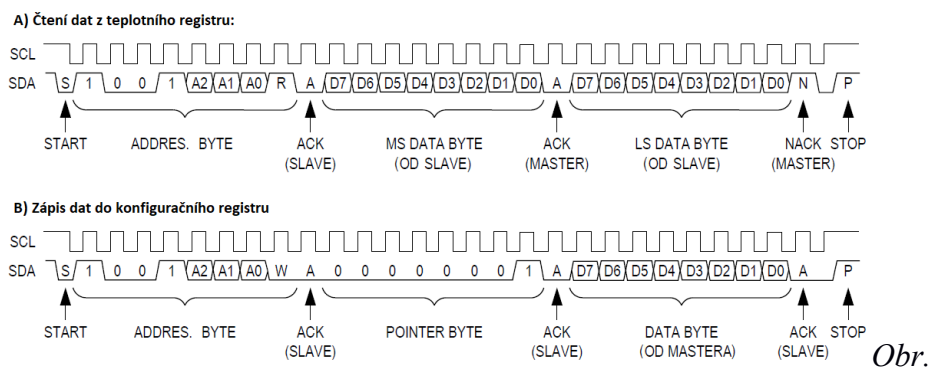
Obr. 2.4: Organizace dat v teplotním registru [7]

Po každém změření teploty je výsledek číselně uchován v dvoubajtovém teplotním registru (obr. 2.4) jako kompletní 16-bitové číslo. Znaménkový bit S udává znaménko teploty. V případě kladné teploty platí, že S = 0. Bity 0 – 3 jsou trvale rovny 0, bity 4 – 7 obsahují desetinnou část hodnoty a bity 8 – 14 celou část hodnoty. Výsledkem je pak kód ve tvaru dvojkového doplňku. Čtení dat z tohoto registru nemá vliv na případně probíhající měření teploty.

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	0	0	1	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	R/W

Obr. 2.5: Konfigurace adresy DS7505 [7]

Adresa snímače (obr. 2.5) je nastavitelná v rozsahu 48<sub>H</sub> – 4F<sub>H</sub> využitím připojení adresovacích vstupů A0 – A2. To umožňuje použití až 8 snímačů na společné sběrnici. Snímač dále obsahuje pomocný výstup s otevřeným kolektorem OS, který může být využit např. jako alarmový výstup.



2.7: Způsob komunikace s DS7505 [7]

Čtení z teplotního registru (obr. 2.6 A) probíhá ve třech 8-bitových rámcích a je zahájeno vysláním 7-bitové adresy od Mastera, ke které je přiřazen bit operace čtení ( $R/W = 1$ ); pokud Slave rozpozná svoji adresu, odpoví MS a LS bajtem dat z teplotního registru. Zápis do konfiguračního registru (obr. 2.6 B) probíhá obdobně, liší se změnou bitu  $R/W = 0$ .

### 2.1.2. Rádiový modul

Každý jednotlivý senzor musí mít možnost obousměrné komunikace, což je důležité z hlediska ověření platnosti přijatých dat a tím ke snížení energetické náročnosti oproti opakovanému vysílání při jednosměrném přenosu.

Základními parametry pro výběr rádiového modulu byla cena, spolehlivost, napájecí napětí a spotřeba. Po zvážení těchto parametrů byl vybrán komunikační modul RFM22 (obr. 2.7) od společnosti HOPE Microelectronics, který je oblíbený a osvědčený z mnoha jiných projektů. Tento modul je typu *Transceiver*, obsahuje vysílač i přijímač a umožňuje tak přenos dat v *half-duplexu*.



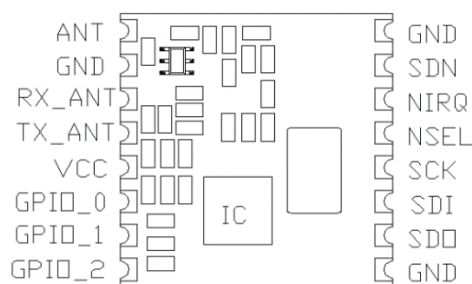
Obr. 2.8: Fotografie modulu RFM22 [11]



Následující seznam uvádí klíčové vlastnosti, ke kterým bylo přihlédnuto při výběru:

- Rozsah nosné frekvence 240 - 930 MHz
- Napájecí napětí 1,8 – 3,6 V
- Výstupní výkon nastavitelný v rozmezí +8 až +17 dBm
- Citlivost -118 dBm
- Spotřeba 27 mA při výstupním výkonu +11 dBm, 18,5 mA při příjmu, od 10 nA v režimu spánku
- Volitelný typ modulační OOK, FSK a GFSK
- Přenosová rychlost 1 - 128 kbps
- Komunikační rozhraní SPI, maximální kmitočet hodin 10 MHz
- Provozní teplotní rozsah -40 - +85 °C

Rozložení vývodů je na obrázku 2.8, jejich význam je popsán v tabulce 2.3. Rozměry modulu jsou 16 x 16 mm, montáž se provádí připájením pomocí půlených proků, ke kterým je dobrý přístup pro pájení hrotem mikropáječky. Existuje i varianta s připojením pomocí dvouřadé kolíkové lišty, obě varianty používají nestandardní rozteč vývodů 2 mm.

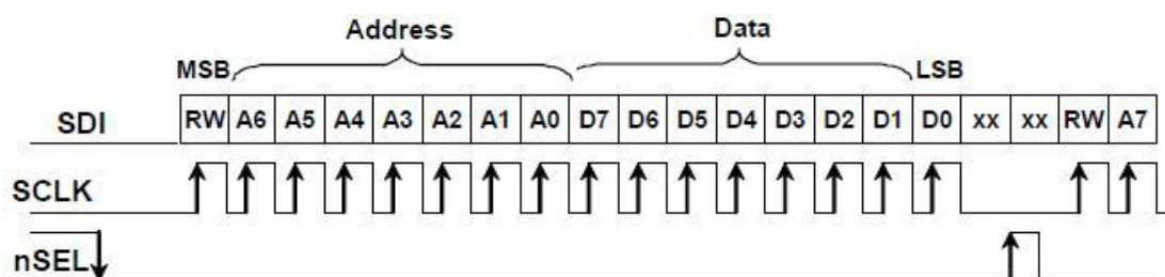


Obr. 2.9: Rozložení vývodů RFM22 [11]

Tabulka 2.3: Význam vývodů RFM22

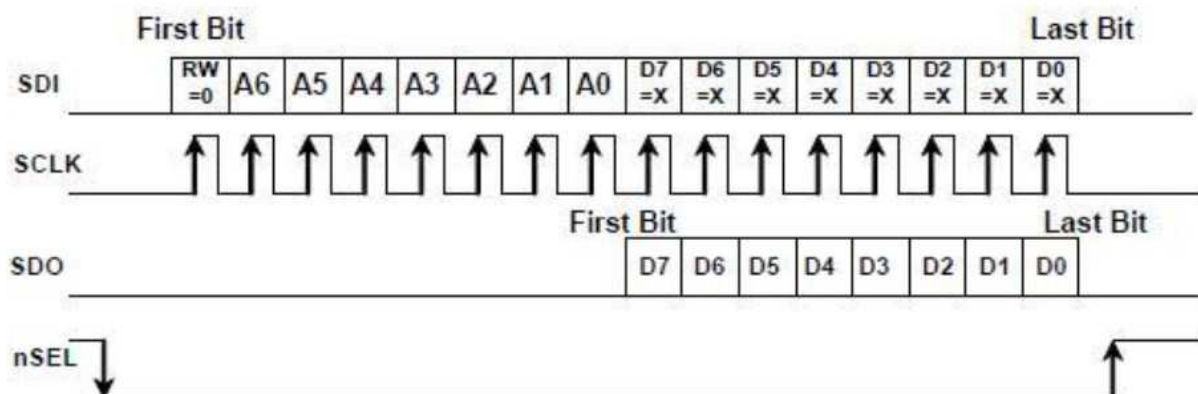
Označení	Směr	Popis
Vcc	-	Napájecí napětí 1,8 – 3,6 V
GND	-	Zem
GPIO0-2	I/O	Univerzální programovatelný vstup / výstup
SDO	O	Výstup SPI
SDI	I	Vstup SPI
SCLK	I	Hodiny SPI
nSEL	I	Slave select (akt. L)
nIRQ	O	Výstup přerušení pro MCU (akt. L)
SDN	I	Vypnutí modulu ( L = zapnut, H = vypnut)
TX_ANT	I	Výběr módu – vysílač
RX_ANT	I	Výběr módu - přijímač
ANT	-	Připojení antény

Komunikace s modulem probíhá prostřednictvím sběrnice SPI, přičemž pro připojení k mikrokontroléru je zapotřebí čtyř základních signálových vývodů. Vývody SDO a SDI zprostředkovávají přenos dat, vývod SCLK přenáší hodinový signál generovaný mikrokontrolérem, a vývod nSEL, sloužící pro výběr zařízení SLAVE ze strany od mikrokontroléru a současně pro zahájení přenosu komunikačního paketu. Dalším možným signálovým vývodem je volitelně nIRQ, který slouží jako indikace přerušení z nastavených vnitřních registrů modulu. Může sloužit např. k indikaci přijatých platných dat, nebo signalizovat jiné důležité stavy, čímž s výhodou odpadá nutnost neustálého dotazování se. Vypnutí modulu je možné vývodem SDN v aktivní úrovni H, pak je nutné celý modul znovu inicializovat. Připojením vývodů TX\_ANT a RX\_ANT s programovatelnými vývody GPIO dojde k využití vnitřního přijímacího a vysílacího registru, modul si tak sám řídí proces přepínání mezi vysílačem a přijímačem. V tomto případě modul vyžaduje pouze nastavení nezbytných základních parametrů pro přenos dat a tím odpadá další zásah ze strany mikrokontroléru.



Obr. 2.10: SPI zápis [11]

Zápis SPI probíhá s náběžnou hranou hodin v 16-bitových sekvencích (obr. 2.9), které se skládají z bitu R/W (čtení/zápis), následovaném 7-bitovou adresou sloužící pro výběr jednoho ze 128 vnitřních nastavovacích registrů a 8-bitovým datovým polem. Pro zápis musí být bit  $R/W = 1$ . Maximální kmitočet hodin je 10 MHz, minimální rozestup ( $nSEL = 1$ ) mezi 16-bitovými sekvencemi musí být 80 ns. Kromě zápisu instrukcí tímto způsobem dochází i k zápisu přenášených dat do vnitřního FIFO zásobníku (adresa  $7F_H$ ).



Obr. 2.11: SPI čtení [11]

Pro čtení z modulu musí být bit R/W = 0 (obr. 2.10). Za ním následuje 7-bitová adresa registru, ze kterého chceme číst 8-bitový obsah. Následovaná 8-bitová datová sekvence na vývodu SDI je ignorována, vyčtená data se objevují na vývodu SDO. Po vyčtení zůstává SDO v 0 nebo 1 v závislosti na hodnotě posledního datového bitu. Čtení přijaté informace z FIFO probíhá stejně jako zápis na adrese 7F<sub>H</sub>, vyčtením z registrů příznaků přerušení ( adresy 03<sub>c</sub> a 04<sub>H</sub>) se provede vynulování těchto příznaků.



Obr. 2.12: Základní struktura paketu [11]

Komunikační paket modulu RFM22 (obr. 2.11) je složen z úvodní části, tzv. Preamble hlavičky o nastavitelné délce až 512 B. Její základní hodnota je 55<sub>H</sub>, což je střídající se nula a jednička. Pomocí ní dokáže přijímač detekovat příjem nového paketu a současně dochází k jeho zasynchronizování. Následuje synchronizační slovo Sync Word o délce 1–4 B, které umožňuje rozpoznání mezi Preamble a začátkem datového paketu. TX Header slouží k základní filtraci přijatých dat. Pokud by byl v dosahu cizí vysílač využívající stejný rádiový modul, pak jej přijímač díky odlišné hlavičce bude ignorovat. Modul ukládá přijatá data do vnitřní 64B FIFO paměti až po detekci této hlavičky. Volitelně následuje Packet Length, který udává velikost přijímaného paketu. Dále následuje blok přijatých dat a volitelný kontrolní součet CRC. Tyto položky je možné v úvodní inicializaci konfigurovat tak, aby byly

automaticky generovány a přidávány k poli přenášených dat samotným modulem. Mikrokontrolér tak zprostředkovává pouze přenos informace a tím dochází k úspoře potřebného výpočetního výkonu. Samotný přenos probíhá dle následujícího schématu: Mikrokontrolér nastaví parametry přenosu, smaže předchozí obsah vysílacího zásobníku TX FIFO, zapíše do něj informaci a vyšle požadavek k přenosu. Na přijímací straně jsou data zapsána do přijímacího zásobníku RX FIFO), po jehož naplnění dojde k vygenerování přerušení pomocí vývodu nIRQ a přijatá data je možné vyčíst. Práh naplnění RX FIFO lze nastavit v závislosti na délce přenášeného datového paketu.

### 2.1.3. Mikrokontrolér ATmega88A

V dnešní době se lze setkat s mnoha řadami mikrokontrolérů různých výrobců lišící se například architekturou, velikostí vnitřní paměti, výbavou periférií apod. Na základě předchozích zkušeností budou použity mikrokontroléry AVR ATmega od firmy Microchip Technology Inc. Jedná se o řadu 8-bitových mikrokontrolérů s RISC jádrem a výpočetním výkonem až 16 MIPS při hodinovém kmitočtu 16 MHz s oddělenou vnitřní FLASH pamětí pro program. Tyto mikrokontroléry disponují programovatelnými vstupně-výstupními obvody a širokým spektrem podpůrných periférií jako jsou čítače/časovače, nejpoužívanější rozhraní (SPI, UART, I2C...), ADC převodníky, programovatelný Watchdog a Brown Out detektor napájení, možnost připojení vnitřních Pull-up rezistorů atd.. Programování probíhá pomocí ISP rozhraní.

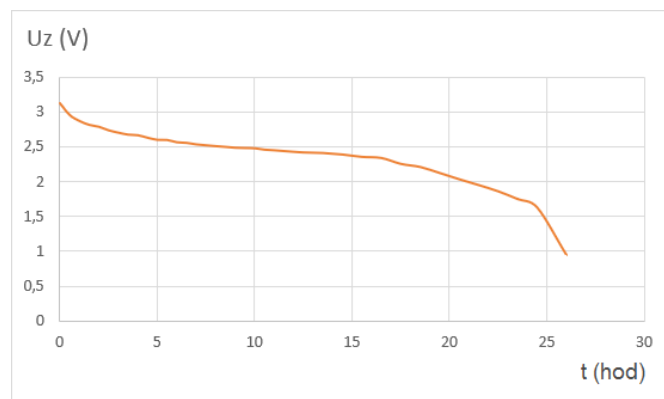
Nejdůležitější požadavky pro výběr mikrokontroléru jsou:

- Minimální napájecí napětí 2 V
- A/D převodník pro měření napětí napájení
- I2C rozhraní pro komunikaci s teplotním senzorem
- SPI rozhraní pro komunikaci s RFM modulem
- Nezávislý vstup reagující na úroveň externího přerušení při dokončeném příjmu od RFM modulu
- Alespoň 4 volné vstupně-výstupní vývody
- Vnitřní časovač s možností připojení externího krystalu
- Možnost Sleep režimu

Lze se domnívat, že nároky na vnitřní paměť nebudou příliš vysoké. Na základě těchto požadavků byl zvolen mikrokontrolér ATmega88A, splňující tyto požadavky s vnitřní FLASH pamětí o velikosti 8 MB.

### 2.1.4. Napájení snímače

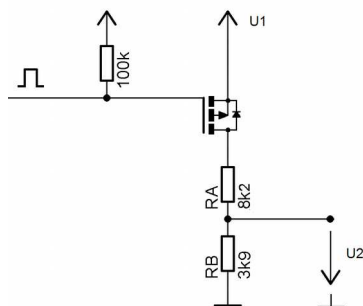
Napájení měřicího snímače zajišťuje dvojice alkalických AA článků 1,5 V zapojených v sérii. Důvodem použití těchto článků je jejich velikost, snadná dostupnost a poměrně velká kapacita. Volba napájecího napětí 3 V je podřízena napájecímu napětí bezdrátových RFM modulů, které nesnesou více jak 3,6 V.



Obr. 2.13: Vybíjecí charakteristika článku GP15AU

Pomocí zapojení klasického proudového zdroje sestaveného ze dvou NPN tranzistorů nastaveného na 100 mA byla změřena vybíjecí charakteristika dvou sériově zapojených alkalických AA článků GP15AU od výrobce GP Batteries (obr. 2.12). Z této charakteristiky je patrné, že jmenovité napětí článku se snižuje ke zhruba 1,7 V po dobu 24 hodin, poté jsou články vyčerpány. Kapacita článku je tedy přibližně 2 400 mAh. Snímače by proto měly být schopny pracovat ještě při napětí 2 V.

K tomu, aby měl každý snímač přehled o stavu svého napájení, je potřeba toto napětí vhodným způsobem upravit a měřit. K tomu slouží obvod dle obrázku 2.13. Napětí  $U_1$  z děliče  $R_A/R_B$  je přiváděno na vstup 10-bitového ADC převodníku mikrokontroléru.



Obr. 2.14: Dělič  $R_A/R_B$

Přesnost měření napájecího napětí je stanovena jako  $\Delta U_1 = 10 \text{ mV}$  pro případný vhodnější přepočet. Zdrojem referenčního napětí použitého ADC je interní Bandgap o velikosti  $U_{REF} = 1,1 \text{ V}$ . Napěťové rozlišení  $\Delta U_{ADC}$  bude:

$$\Delta U_{ADC} = \frac{U_{REF}}{2^{10}} = \frac{1,1}{1024} \cong 1,0742 \text{ mV} \quad (2)$$

Vzhledem k tomu, že horní mez napájecího napětí je  $3 \text{ V}$ , měl by optimální poměr děliče  $R_A/R_B$  pro využití rozsahu ADC být v tomto případě 1:3. Dělicí poměr  $R_D$  je stanoven dle vztahu:

$$R_D = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_{ADC}} : 3 = \frac{10 \text{ mV}}{1,0742 \text{ mV}} : 3 \cong 0,3103 \quad (3)$$

Z jednoduché trojčlenky pak lze nalézt hledanou hodnotu  $R_A$ :

$$\frac{2,1}{1} = \frac{R_A}{R_B} \rightarrow R_A = 2,1 \cdot R_B \quad (4)$$

Dle vzorce (4) byl proveden přepočet pro všechny hodnoty z běžné řady E12. Nejpresnější dělicí poměr byl dosažen s hodnotami  $R_A = 8,2 \text{ k}\Omega$  a  $R_B = 3,9 \text{ k}\Omega$ .

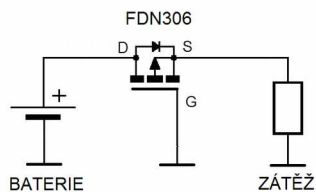
Zpětným ověřením dle vzorce (2) dostaneme:

$$\Delta U_1 = R_D \cdot \Delta ADC \cdot 3 = \frac{3,9 \text{ k}}{3,9 \text{ k} + 8,2 \text{ k}} \cdot \frac{1,1}{1024} \cdot 3 \cong 10,387 \text{ mV} \quad (5)$$

což způsobuje odchylku necelé 4 procenta.

Při připojování napájení snímače nelze zcela vyloučit možnost přepólování baterie. Pokud bychom použili běžnou diodu v sérii se zátěží, vzniknul by na Si diodě nežádoucí úbytek napětí zhruba  $0,5 \text{ V}$ , v lepším případě zhruba  $0,25 \text{ V}$  při použití Schottkyho diody. Tím by se zbytečně snižovala účinnost. Při použití antiparalelní diody k zátěži sice dojde k ochraně obvodu a eliminaci nežádoucího úbytku, nicméně současně dojde ke zbytečnému zahřívání a vybíjení článků. Jako účinná ochrana před přepólováním slouží obvod dle obrázku 2-14 složený z P-MOS tranzistoru. Při správné polaritě dojde k otevření vnitřní diody a vedení proudu do zátěže, čímž dojde k vyvolání úbytku  $U_{DS}$  a sepnutí tranzistoru. V opačném případě nedojde k vedení proudu přes vnitřní diodu. Jako P-MOS byl zvolen typ FDN306 s

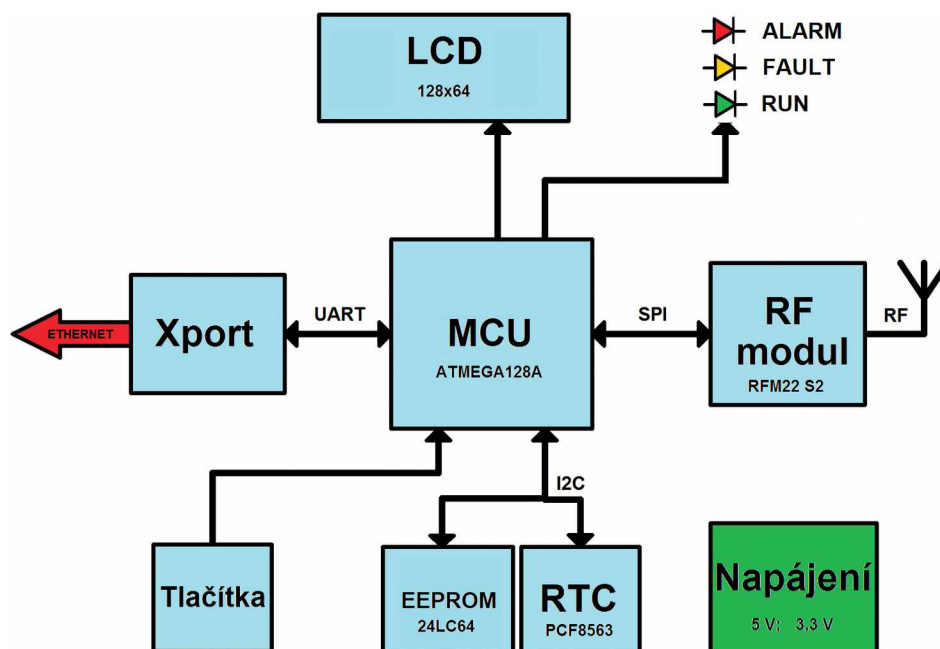
$U_{GS} = -1,8 \text{ V}$  a s vnitřním odporem  $80 \text{ m}\Omega$ , který má při maximálním očekávaném možném odběru  $100 \text{ mA}$  úbytek zanedbatelných  $8 \text{ mV}$ .



Obr. 2.15: Ochrana proti přepólování

## 2.2. Měřicí ústředna

Měřicí ústředna (obr. 2.15) tvoří hlavní část celého systému. Její úlohou je sběr dat ze všech měřicích snímačů, jejich vyhodnocení a zobrazení na LCD displeji a přenos na webový server.



Obr. 2.16: Blokové schéma měřicí ústředny

### **2.2.1. Mikrokontrolér ATmega128A**

Hlavním prvkem pro ústřednu je mikrokontrolér. Mikrokontrolér má na starosti komunikaci s jednotlivými snímači, jejich koordinaci, aby nedocházelo ke vzájemným kolizím během přenosu, čtení a zpracovávání naměřených údajů a jejich další zpracování.

Mikrokontrolér pro ústřednu bude vybírán rovněž z řady 8-bitových AVR ATmega od výrobce Microchip Technology Inc. Zde jsou kladeny vyšší požadavky z hlediska použitých periférií. Hlavní požadavky jsou:

- SPI rozhraní pro komunikaci s RFM modulem
- UART rozhraní pro komunikaci s modulem XPort
- I2C rozhraní pro komunikaci s RTC obvodem a pamětí EEPROM
- Alespoň dva vstupy reagující na úroveň externího přerušení od RTC a RFM
- 14 vstupně/výstupních vývodů pro připojení LCD
- 8 vývodů pro připojení vstupních periférií
- 3 výstupy pro diagnostické LED
- Alespoň 8 volných rezervních vývodů

Na základě těchto požadavků byl zvolen mikrokontrolér ATmega128A. Kromě výše popsaných požadavků dále disponuje dostatečným paměťovým prostorem FLASH (128 MB) pro program a znakovou sadu LCD, 4 kB RAM a 4 kB vnitřní EEPROM paměti a celkem 53 programovatelných vstupně-výstupních vývodů.

### **2.2.2. Modul Xport**

Možností, jak připojit zařízení do sítě LAN, je využití hotového modulu od firmy Lantronix [10]. Tato firma nabízí hotové převodníky z Ethernetového rozhraní na UART, ale i základní moduly pro komunikaci po síti LAN. Jedním z modulů je malý webový server pod označením XPort (obr. 2.16), který byl vyvinut pro potřeby snadného a rychlého připojení zařízení do sítě LAN.





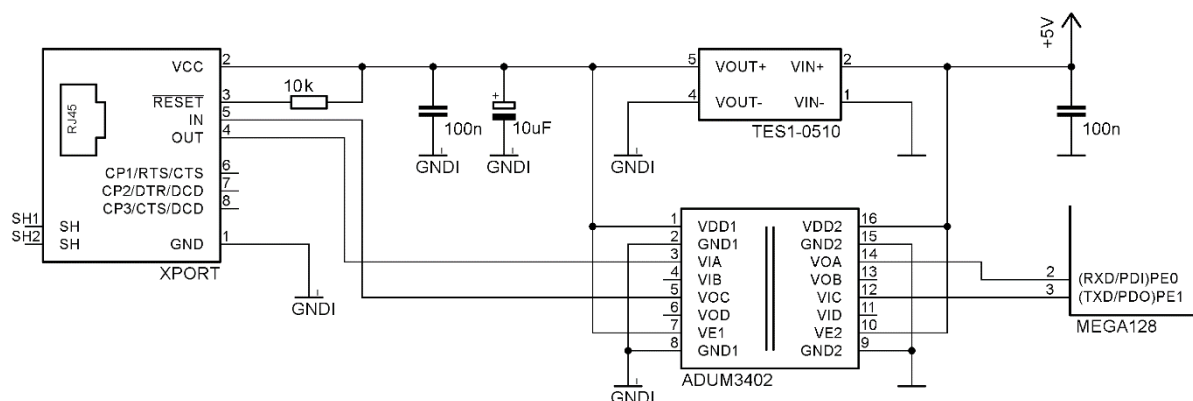
*Obr. 2.17: Modul XPort [10]*

K tomuto modulu lze připojit libovolné zařízení prostřednictvím rozhraní UART a přenášet data na webovou stránku, ke které bude přistupovat uživatel. Nevýhodou je pořizovací cena přesahující částku 1 000,- Kč, čímž se podstatně zvyšuje cena hotového zařízení, nicméně ta je kompenzována rychlým a snadným použitím.

#### **Vlastnosti modulu XPort:**

- Webový server
- Snadná konfigurace prostřednictvím HTML rozhraní
- Podpora velkého množství protokolů (např. TCP/IP, UDP/IP, HTTP, Telnet a spoustu dalších)
- Převodník UART na Ethernet, podpora RS485 s automatickým přepínáním toku dat
- Podpora odesílání e-mailů
- Napájení 3,3 V
- Modulární provedení v podobě konektoru RJ-45
- Možnost zabezpečení heslem
- 3 programovatelné vstupně-výstupní vývody

Modul po připojení automaticky rozpozná síť 10/100 Mbit a signalizuje stav připojení, případně provoz LED diodami zabudovanými přímo v RJ konektoru. Před použitím je nutné modul nastavit, především přidělit novou IP adresu. Konfiguraci lze provádět několika způsoby. Nejjednodušším způsobem je použití volně stažitelného SW výrobce Lantronix, Device Installer. Tento program dokáže najít modul na lokální ethernetové síti podle jeho HW MAC adresy, která je na modulu vytištěna. Další možností přiřazení IP adresy je pomocí arp protokolu terminálem TELNET. Poslední možností nastavení je přes RS232 rozhraní. Jakmile je modulu přidělena IP adresa, lze v konfiguraci pokračovat přes libovolný webový prohlížeč definovaný na standardním portu 80. Tato konfigurace je přehledná, pohodlná a přístupná z každého počítače v síti.



Obr. 2.18: Připojení modulu XPort k mikrokontroléru

K připojení modulu XPort k mikrokontroléru stačí propojit patřičné datové piny RxD a TxD sériové linky UART (obr. 2.17).. Přestože by mohlo být použito přímého propojení, bylo zvoleno galvanické oddělení pomocí obvodu ADUM3402 v činnosti s DC/DC měničem TES1-0510. Hlavním důvodem použití těchto obvodů je skutečnost, že připojení modulu XPort k síti LAN je zprostředkováno adaptérem Powerline z elektrické sítě 230 V, čímž by při případné poruše mohlo dojít k nechtěnému zničení celé ústředny, Pro provoz ve venkovním prostředí je též rozumné uvědomit si, že zejména v letních měsících při bouřce může docházet k naindukování napětových špiček do Ethernetového kabelu, čímž by opět mohlo dojít ke zničení ústředny. V případě, že k takové poruše dojde, pravděpodobně postačí výměna pouze modulu Xport, nemusí se pracně měnit a znovu naprogramovávat mikrokontrolér. Další výhodou je snadné přizpůsobení logických úrovní 5V ze strany mikrokontroléru na 3,3 V pro stranu XPort.

Obvod ADUM3402 je čtyřkanálový izolátor s transformátorovou vazbou, dvěma vstupními a dvěma výstupními kanály a blokovacím vstupem  $V_E$ , který je trvale aktivován připojením k napájení (akt. v log. 1). Maximální možná přenosová rychlost je 90 Mb/s, napětová odolnost 2,5 kV/min. Tento obvod je vyráběn v pouzdru SOIC 16. Napájení modulu zajišťuje izolovaný DC/DC měnič TES1-0510 v SMD provedení, který převádí vstupní napětí 5 V na výstupní napětí 3,3 V. Při jeho výběru byla zohledněna spotřeba modulu Xport, kterou výrobce uvádí 119 mA při běžném provozu, nárazově pak až 267 mA [10]. Měnič TES1-0510 je schopný dodat trvalý výstupní proud 300 mA. Jeho napětová odolnost je 1,5 kV. Krom modulu XPort rovněž napájí oddělenou stranu obvodu ADUM3402.

### 2.2.3. LCD Displej

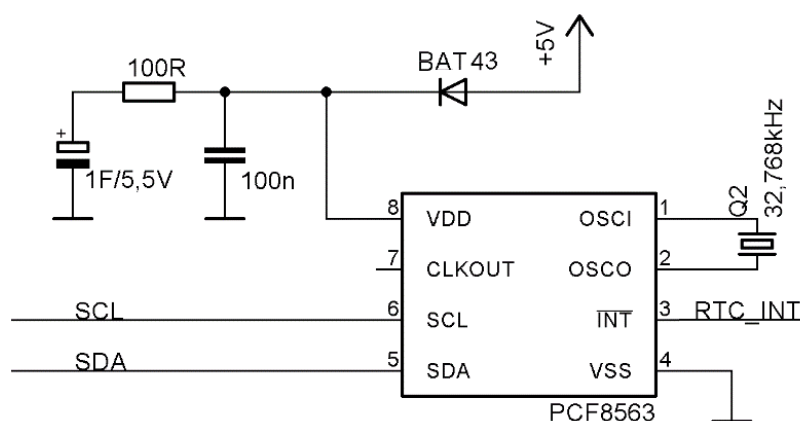
Pro přehledné zobrazení měřených hodnot ze všech snímačů byl zvolen monochromatický grafický LCD displej s rozlišením 128x64 pixelů provozovaný v textovém režimu, konkrétně se jedná o typ MC128064A6W FSTN s černým zobrazením na bílém pozadí. Tomuto displeji byla dána přednost před běžnými alfanumerickými displeji z důvodu zobrazení většího možného množství informací, v tomto případě umožňuje přehledně zobrazit

informace ze všech snímačů na každém řádku zvlášť. Tento displej obsahuje řadič NT7108, což je alternativa běžně používaného řadiče KS0108. Nevýhodou je absence vlastní znakové sady, což může na druhé straně být výhodou v definici vlastních fontů a zobrazování drobných grafických symbolů. K zobrazování běžných znaků bude použita mírně upravená knihovna pocházející od zdroje [6], která obsahuje standardní ASCII znakovou sadu o rozměrech 5x8 pixelů.

K ovládání je zapotřebí celkem 14 vývodů, osmi datových (DB0-DB7), dvou řídících (E, RS), vývody CS1 a CS2 pro přepínání mezi levou a pravou polovinou, pro volbu čtení/zápis instrukce vývod R/W a resetovací vstup RST. Celý displej je rozdělen na dvě poloviny s rozlišením 64x64 pixelů, přičemž každá polovina má vlastní řadič. Pomocí vývodů CS1 a CS2 (akt. V log. 1) lze ovládat buď levý, pravý, nebo oba řadiče. Zápis na datovou sběrnici DB0-DB7 je prováděn sestupnou hranou přiváděnou na vývod E. Napájecí napětí LCD displeje je 5 V, tudíž je i řídící logika pětivoltová. Kontrast zobrazení využívá kladného a integrovaného záporného napětí -5V generovaného na vývodu Vee a je nejprve nastaven odporovým trimrem a následně, po zjištění dělicího poměru napěvno nastaven dvěma rezistory. LCD displej disponuje bílým podsvícením, které zajišťuje vynikající kontrast mezi písmem a pozadím a zlepšuje čitelnost za horších světelných podmínek.

#### 2.2.4. RTC obvod PCF8563 a EEPROM 24LC64

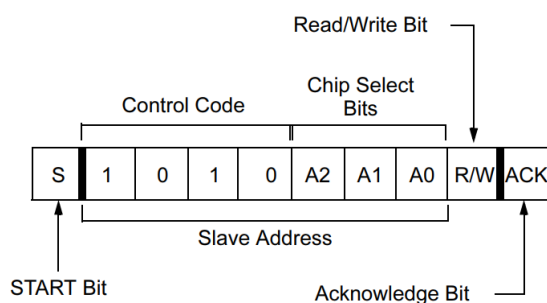
PCF8563 je obvod reálného času (RTC), který obsahuje hodiny a kalendář v BCD kódu, optimalizovaný pro aplikace s nízkou spotřebou. Tento obvod obsahuje hodinový výstup s programovatelnou děličkou (CLKOUT, standardně 32 768 Hz, programovatelně 1024 Hz, 32 Hz a 1 Hz), alarmový výstup pro vyvolání přerušení (INT) a detektor nízkého napájecího napětí. Napájecí napětí se pohybuje v mezi 1,8 – 5,5 V, spotřebu výrobce udává 0,25 uA při napětí 3 V. S okolím obvod komunikuje pomocí I2C sběrnice s rychlostí přenosu až 400 kb/s. Adresa pro zápis je A2<sub>H</sub>, pro čtení pak A3<sub>H</sub>.



Obr. 2.19: Zapojení obvodu PCF8563

Obvod je k mikrokontroléru připojen přímo (obr. 2.18), ke sběrnici je nutné pouze připojit Pull-up rezistory. Pro případ výpadku napájecího napětí je obvod zálohován superkapacitorem o hodnotě  $C = 1 \text{ F}$ . Řešení využívající superkapacitor oproti využití zálohovací baterie nabízí bezúdržbovost systému. Měřením byl experimentálně zjištěn pokles napětí přibližně  $\Delta U = -10 \text{ mV}/24 \text{ hodin}$ .

Sériová paměť 24LC64 je organizována do 8 bloků po 8 kbitech. Komunikuje po společné sběrnici s RTC obvodem rychlostí až 400 kb/s, napájecí napětí se pohybuje v rozmezí 2,5 – 5,5 V. Obsahuje HW ochranu na vývodu WP proti zápisu, tato ochrana je deaktivována uzemněním WP. Adresace je prováděna kombinací vývodů A0, A1, A2 (obr. 2.19) připojených k napájecímu napětí nebo uzemněním. Tyto vývody jsou uzemněny a je tak nastavena adresa 80<sub>H</sub>.



Obr. 2.20: Adresace EEPROM [13]

### 2.2.5. Zdroj napájení

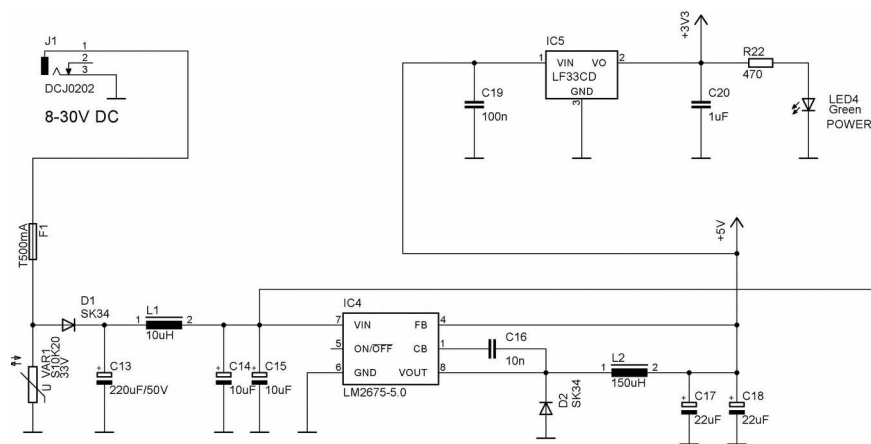
Na měřicí ústřednu může být přivedeno napájecí napětí v rozsahu +7 V - +30 V DC připojením na standardní napájecí konektor 5,5/2,1. Z bezpečnostních důvodů je použit externí adaptér. Protože není předem známá velikost výstupního napětí použitého adaptéru, je zvolena koncepce spínaného snižujícího měniče. Tabulka 2.4 uvádí maximální spotřebu jednotlivých bloků zjištěnou z příslušných katalogových listů, poslední řádek uvádí celkovou maximální očekávanou spotřebu ústředny. Spotřeba jednotlivých doplňujících periférií, jako stavové LED, RTC apod. je řádově jednotky mA, jejich rozepisování nemá význam, proto je celková jejich spotřeba odhadnuta na 30 mA. Zdroj by tedy měl být dimenzován právě na tuto spotřebu. Spotřeba modulu Xport je zohledněna účinností použitého spínaného DC měniče, kterou výrobce udává jako 73 %.

Tabulka 2.4: Maximální spotřeba použitých komponentů

Označení:	Spotřeba:
ATmega128	19 mA
Modul Xport	365 mA <sup>1</sup>
LCD 128x64	2 mA
LCD podsvícení	30 mA
RFM22	60 mA
Ostatní periferie	30 mA
<b>Celková spotřeba:</b>	<b>506 mA</b>

<sup>1</sup> Zohledněna účinnost měniče TES1-0510 73 %

Schéma zapojení napájecího zdroje je na obr. 2.20. Transil S10K20 spolu s pojistkou T 500 mA chrání obvod před přivedením napětí vyššího než cca 30 V a před případnými napětovými špičkami. Tyto ochrany jsou nutné k zamezení zbytečného poškození obvodů. Dioda D1 slouží jako ochrana proti přepólování. Tlumivka L1 spolu s kondenzátory C14 a C15 tvoří odrušovací filtr. Pro snížení vnitřního odporu jsou použity dva paralelně zapojené jak na vstupní, tak na výstupní straně měniče.



Obr. 2.21: Schéma zapojení napájecího zdroje

Pro snižující měnič je vybrán spínaný stabilizátor LM2675 (obr. 2.20) pracující na kmitočtu 260 kHz. Tento kmitočet umožňuje použít nižší hodnoty výstupních LC prvků. Je použita varianta obvodu s pevným výstupním napětím 5V, velikost tohoto napětí je podřízena potřebě napájení LCD displeje. Vstup ON/OFF umožňuje zablokování stabilizátoru (připojením k 0 V blokuje) a v tomto případě je ponechán nezapojen. Zapojení doplňuje bootstrap kondenzátor C16 a rekuperační Schottky dioda D2. Ta je volena s ohledem na rychlosti a proudu, který jí může protékat. Tlumivka L2 a kondenzátory C17, C18 slouží jako výstupní filtr, jejich hodnoty jsou voleny pro maximální očekávaný výstupní proud 500 mA.

Lineární stabilizátor LF33D zajišťuje napájecí napětí 3,3 V pro napájení RFM rádiového modulu. Je volen jako typ s nízkým úbytkem napětí (typicky 0,45 V) pro přímé připojení na +5 V kvůli snížení tepelných ztrát. Maximální výstupní proud je 500 mA.

### 3. Programové vybavení

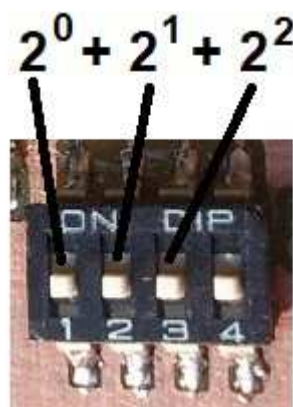
Pro vývoj programového vybavení je použito vývojové prostředí AVR studio 4.18 od firmy Atmel. Veškeré kódy pro mikrokontroléry jsou psány v programovacím jazyce C, k naprogramování poslouží programátor BiProg. Samotné programování probíhá prostřednictvím ISP programovacího rozhraní.

#### 3.1. Protokol bezdrátového přenosu

U bateriově napájeného zařízení je žádoucí efektivní využívání energie, z tohoto důvodu je zapotřebí specificky poohlížet na návrh komunikačního protokolu. Každý senzor bude vysílat:

- Vlastní adresu snímače
- Zjištěnou teplotu
- Napětí své baterie
- 

V tomto případě se projevují výhody použití modulu RFM, který v sobě obsahuje funkci „Packet handler“, díky kterému je možný přenos paketů s proměnnou délkou včetně synchronizační části „Preamble“ a kontrolního CRC součtu, bez jakéhokoliv zásahu mikrokontroléru. Celý systém je navržen tak, že každý snímač se s určitou periodou probudí z režimu spánku, naměří potřebná data, která dále pomocí RFM modulu odešle do ústředny. Po odeslání dat se snímač přepne do režimu příjmu, kde čeká 300 ms na odpověď od ústředny. Pokud odpověď nedorazí, může opakovat vysílání paketu až čtyřikrát, přičemž k původní době naslouchání se navíc přičítá náhodně vygenerované zpoždění dosahující rozmezí 0 – 200ms a čeká na odpověď. Pokud odpověď vůbec nepřijde, přepne se snímač do režimu spánku. Jsou-li data bez chyby, přijatá odpověď obsahuje požadavek na usnutí snímače a periodu dalšího probuzení. Ta je volitelná v délce 1 minuty až 1 hodiny. Každý snímač má možnost nastavení vlastní adresy pomocí DIP přepínače (obr. 3.1). Toto řešení umožňuje přidávat nebo odebírat snímače dle potřeby. Maximální počet snímačů je omezen počtem řádků LCD na 8, čtvrtá pozice DIP přepínače je nevyužita.



Obr. 3.1: Adresace DIP spínačem

Datový paket snímače (tab.3.1) je složen celkem z 10 Bajtů. První pozice obsahuje adresu snímače, kterou si sám načte, další pozice obsahuje stavový registr, ve kterém jsou zakódovány provozní stavy snímače, kde nultý bit značí případnou poruchu teplotního senzoru, první bit spodní mez napájecí baterie, druhý bit požadavek na odpověď a třetí bit informuje, zda byl snímač právě restartován. Ostatní bity jsou nevyužity. Třetí a čtvrtá pozice paketu obsahuje dvoubajtovou hodnotu naměřené teploty. Další pozice jsou rezervovány pro případné rozšíření o další senzory. Poslední dvě pozice obsahují dvoubajtovou hodnotu napětí baterie.

Tabulka 3.1: Struktura datového paketu snímače

Bajt	Data	Poznámka
0.	A	Adresa snímače
1.	S	Status registr
2.	T1	Teplota 1 – MS
3.	T1	Teplota 1 – LS
4.	T2	Teplota 2 – MS
5.	T2	Teplota 2 – LS
6.	T3	Teplota 3 – MS
7.	T3	Teplota 3 – LS
8.	ADC	Napětí - MS
9.	ADC	Napětí - LS

Pro odpověď od ústředny (tab. 3.2) je shodná délka paketu 10 Bajtů, v tomto případě paket začíná adresou oslovovaného snímače, rezervovaným stavovým registrem a dvoubajtovou hodnotou periody režimu spánku vyjádřenou v sekundách.

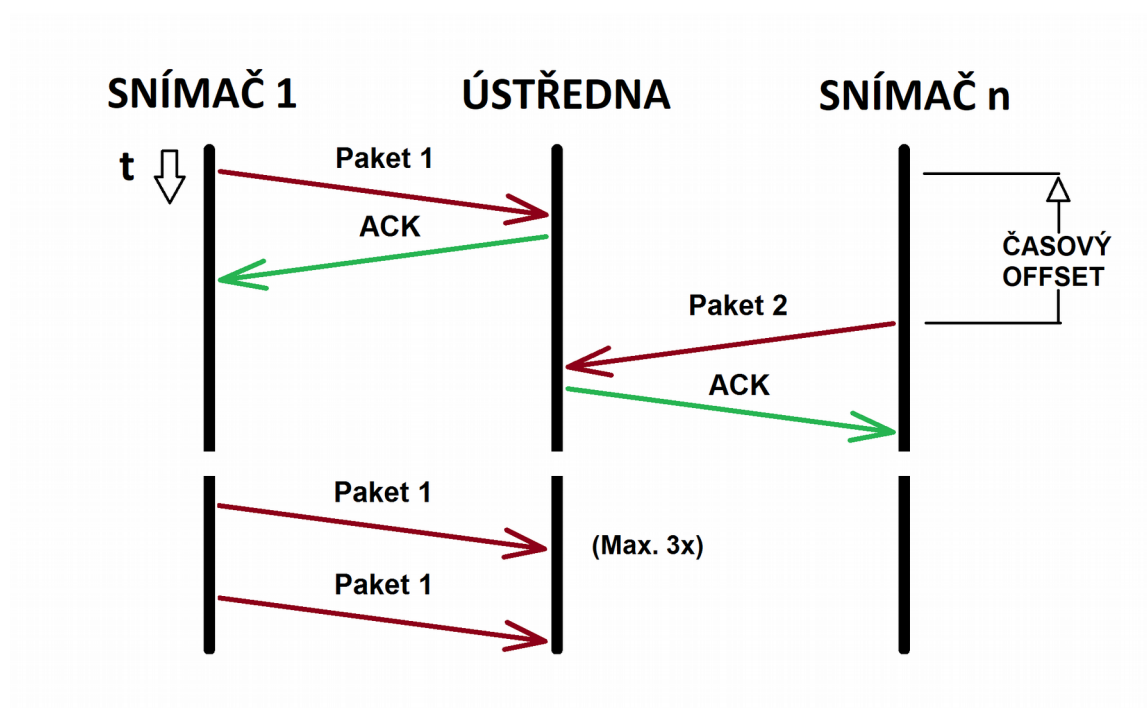


Tabulka 3.2: Struktura potvrzovacího ACK paketu od hlavní jednotky

Bajt	Data	Poznámka
0.	A	Adresa snímače
1.	S	Status registr
2.	P	Perioda probuzení - MS
3.	P	Perioda probuzení - LS
4.	-	Rezerva
5.	-	
6.	-	
7.	-	
8.	-	
9.	-	

### 3.2. Ošetření kolizí

Schéma přenosu je na obrázku 3.2. Pro jednoduchost je znázorněn přenos od dvou vysílačů, avšak princip je stejný pro všechny vysílače.



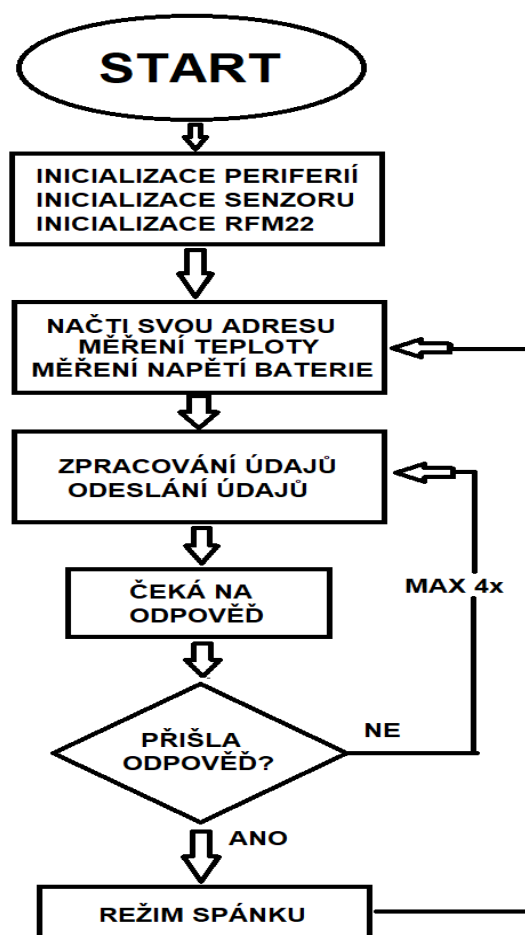
Obr. 3.2: Schéma komunikace mezi snímači a ústřednou

Aby se předcházelo vzájemným kolizím, musí ústředna vhodným způsobem koordinovat činnost snímačů. Ve smyčce běží čítač, který časuje periodu probouzení snímačů.

Pokud se ústředně přihlásí snímač například připojením napájecího napětí, ústředna vypočítá dobu do konce periody probuzení snímače a pošle ji v odpovědi snímači. Snímač se na tuto dobu přepne do spánkového režimu a v další fázi pošle svoje data v očekávaném okamžiku. Stejným způsobem ústředna vypočítá periodu probouzení pro každý další snímač, avšak s určitým časovým offsetem, čímž zabraňuje vzniku kolizí.

### 3.3. Program pro snímač

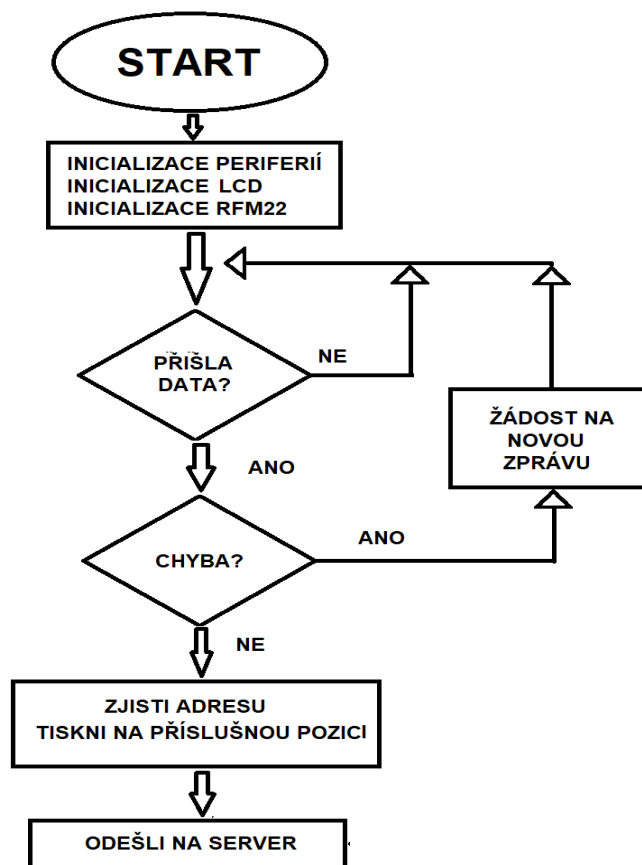
Vývojový diagram snímače je na obrázku 3.3. Po připojení napájení proběhne inicializace vnitřních periférií, jako jsou vstupně/výstupní porty, časovače a sériové rozhraní. Následuje inicializace vnějších periférií, jedná se o teplotní senzor a RFM modul. Poté snímač načte svoji adresu, která je určena binární kombinací DIP spínače. Dojde ke změření teploty a napájecího napětí a tyto informace odešle ústředně. Následně očekává odpověď. Pokud odpověď nedorazí, opakuje vysílání dat. Pro úsporu energie se odesílání opakuje maximálně čtyřikrát. Pokud dorazí odpověď, může se snímač přepnout do režimu spánku. Doba spánkového režimu určuje ústředna a je tedy součástí odpovědi.



Obr. 3.3: Vývojový diagram snímače

### 3.4. Program pro ústřednu

Vývojový diagram pro ústřednu je na obrázku . Po inicializaci vnitřních a vnějších periférií ústředna přechází do režimu příjmu a očekává příjem dat některého snímače. Pokud přijde informace, na základě adresy snímače dojde k potvrzení příjmu zpětným vysláním odpovědi snímači a přijatou zprávu vytiskne na příslušnou pozici LCD. Může dojít k odeslání dat na server.



Obr. 3.4: Vývojový diagram ústředny

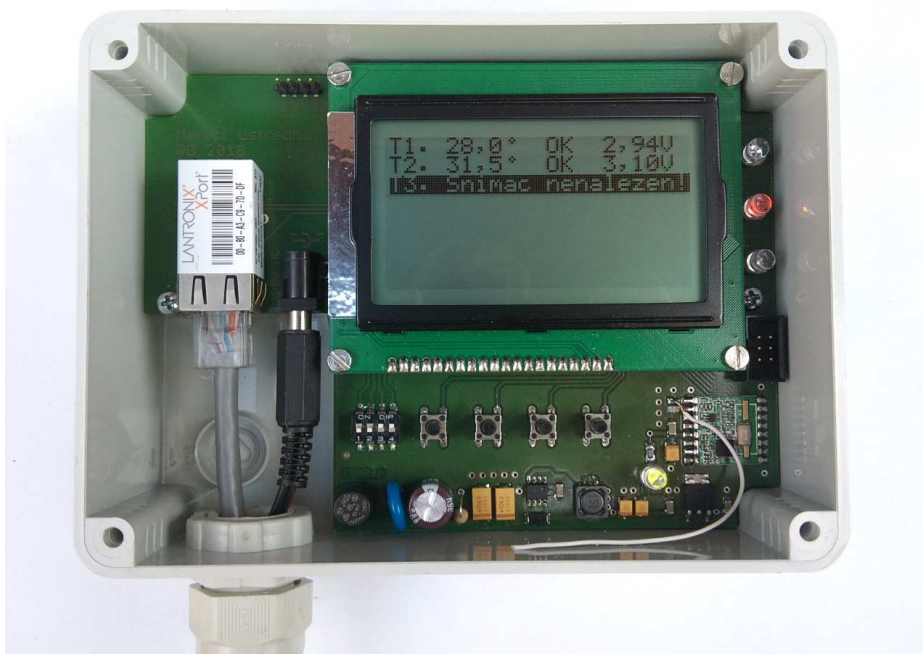
## 4. Realizace sestavy

Desky plošných spojů jsou navrženy návrhovým prostředím EAGLE 5.11 společnosti Autodesk, který je rozšířený a disponuje přehledným grafickým intuitivním ovládáním. Přestože návrhový program obsahuje velké množství knihoven, bylo potřeba pro RFM22 a některé další prvky vytvořit vlastní knihovny. Ty jsou součástí přílohy. Při návrhu desek plošných spojů byla snaha o použití převážně SMD součástek.

### 4.1. Konstrukce

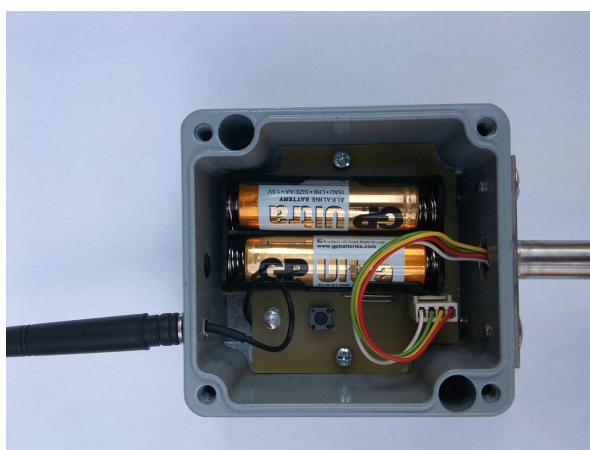
Celý systém bude celoročně provozován ve venkovním prostředí. Nároky na pouzdření jednotlivých součástí systému jsou vyšší, zde je žádoucí, aby jednotlivé plošné spoje byly hermeticky uzavřeny před okolními vlivy. Plošný spoj měřicí ústředny (obr. 4.1) je realizován jako oboustranný z materiálu FR4 tloušťky 1,5 mm s prokovenými otvory a nepájivou maskou. Toto řešení kromě estetické stránky slouží k ochraně před případnými nepříznivými vnějšími vlivy a rovněž zvyšuje odolnost a životnost výrobku. Celkové rozměry plošného spoje jsou 148x108 mm a je navržen pro snadné přišroubování do průmyslové plastové krabičky GW44 427 výrobce GEWISS s krytím IP56 vhodné do venkovního prostředí. Krabička sestává ze dvou částí, přičemž přední kryt je průhledný a umožňuje tím, aby byly viditelné veškeré indikační prvky. Deska je opatřena tlačítkovou klávesnicí, nicméně předpokládá se spíše nastavování prováděná vzdáleně přes síť. V levém spodním rohu je záměrně vyfrézován výřez pro snadné protažení a připojení napájecího a ethernetového kabelu. V místě výřezu je ze spodní strany krabice kabelová průchodka, která přispívá k hermetickému uzavření celé ústředny. Vzhledem k rozměrům protaženého LAN konektoru je nutné použít průchodku minimálně PG16 a vzniklý meziprostor mezi průchodkou a kabelem tak utěsnit například kaučukovou izolační páskou. Pro případné rozšiřování ústředny o další funkce deska disponuje ISP programovacím konektorem pro snadné připojení programátoru. LCD je k desce připevněn pomocí čtyř vertikálních kovových sloupků se závitem M3 a pro případ demontáže elektricky připojen standardní zásuvnou kolíkovou lištou. Jako anténa k bezdrátovému modulu slouží měděný zvonkový drát naladěný na délku vlny  $\lambda / 4$ , který bude později nahrazen všesměrovou anténou v plastovém krytu vyvedenou ven z ústředny.

Plošný spoj snímače je zhotoven na jednostranné desce o rozměrech 70x66 mm. Přes veškerou snahu nebylo možné na jednostranné desce se zcela vyhnout propojkám. V případě krátkých vzdáleností propojů byly použity rezistory v pouzdru SMD 1206 a SMD 2010, jinak byly použity drátěné propoje. K plošnému spoji je dvěma šrouby M3 přišroubováno pouzdro pro AA články. Výsledná deska je navržena pro montáž do hliníkové krabičky Bopla A105 (obr. 4.2). Důvodem upřednostnění kovové krabičky je robustnost a větší mechanická odolnost, kde snímač může přímo přicházet do styku s vlhkou látkou, navíc je nutné zajistit pevné spojení s nerezovou snímací částí, ve které je umístěna vložka s měřicím senzorem.



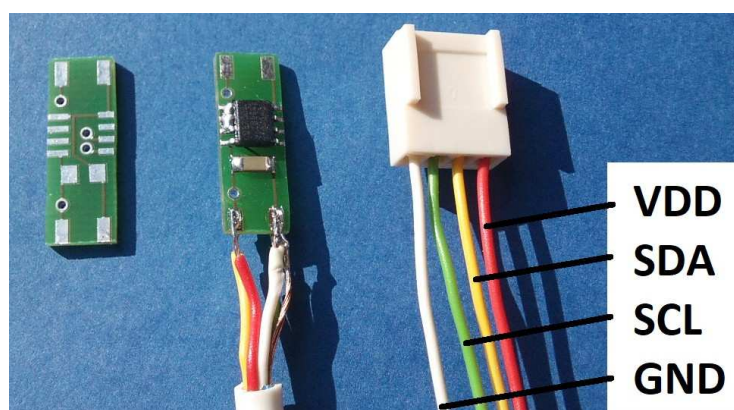
*Obr. 4.1: Realizace měřicí ústředny se simulovaným chybovým hlášením*

Snímací část snímače je realizována nerezovou dutinou o vnějším průměru 10 mm a vnitřním průměru 8 mm. V koncové části je nasunut a svařením utěsněn ostrý nerezový hrot, který umožňuje zavádění snímače do monitorované látky. Spojení dutiny s krabičkou je realizováno pomocí kolmo přivařeného plechového obdélníku, v jehož rozích jsou vyvrtány otvory pro spojení šrouby M5. Přejechod mezi krabičkou a kulatinou je utěsněn silikonem. Kovová krabička současně působí jako protipól vysílací antény.



*Obr. 4.2: Realizace mechanické konstrukce snímače*

Měřicí senzor DS7505 je dostupný v plastovém pouzdru SOIC 8, což komplikuje jeho umístění v kovové dutině snímače. Musí pro něj být navržen plošný spoj s maximální šířkou 7 mm, aby se do snímací části mohl pohodlně zasunout. Propojení plošného spoje senzoru s plošným spojem snímače je realizováno čtyřžilovým ohebným kabelem 4x0,22 mm opatřeným řadovým konektorem se zámkem na opačné straně (obr. 4.3). Vzhledem k předpokládanému rozšíření je tento plošný spoj realizován současně jako kabelový mezikus, na němž bude možné nastavit adresu propájením adresových vstupů k napájení nebo k zemi. Výsledný mezikus bude zaizolován smršťovací bužírkou.



*Obr. 4.3: Realizace senzorové vložky*

## 4.2. Testování a měření

Pro ověření funkčnosti systému bylo nutné realizovat otestování a experimentální měření. K realizaci testování postačil ve většině případů pouze jeden snímač.

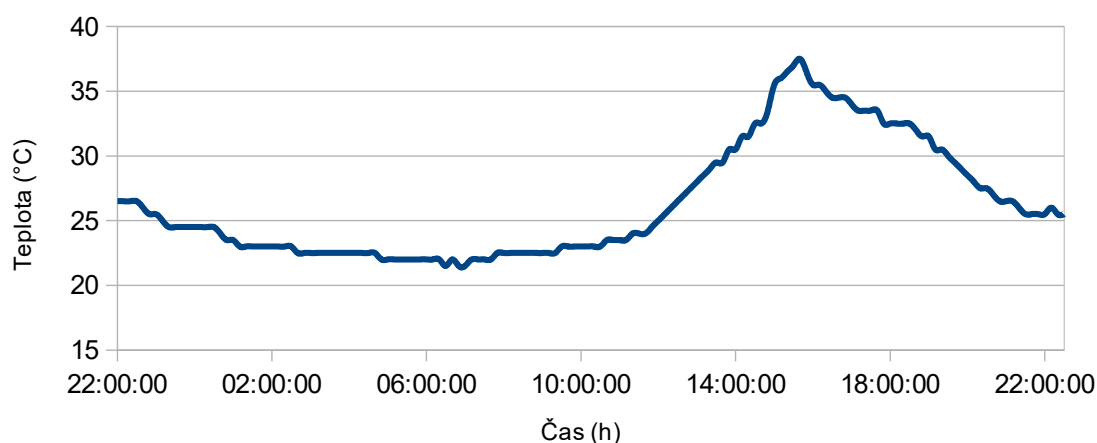
Vzhledem k tomu, že teplotní senzor DS7505 je již kalibrován od výrobce, nebylo nutné ověřovat jeho přesnost. Bylo provedeno pouze ověření funkce ponořením do vroucí vody a otestování reakce ústředny na překročení alarmové hodnoty.

Klíčové bylo otestování komunikace snímače s měřicí ústřednou. Zejména při vývoji firmwaru bylo drobnými úpravami ve zdrojovém kódu ústředny byly simulovány možnosti komunikace, kde byl například v inicializační funkci v registru 0x30 záměrně nastaven nastaven odlišný formát CRC kódu nebo odpověď až na několikátou výzvu.

### 4.2.1. Měření teploty

Měření teploty bylo prováděno po dobu 24 hodin měřením venkovní teploty vzduchu, po kterou byly data přenesená do ústředny zaznamenávána po Ethernetovém převodníku do terminálu v PC. Pro tento účel byla zvolena perioda probouzení snímače 10 minut. Více vzorků by bylo obtížnější zpracovávat. Ze zaznamenaných dat je vytvořen graf vývoje venkovní teploty (obr.4.4).

#### Zaznamenaný trend vývoje venkovní teploty vzduchu



Obr. 4.4: Trend vývoje teploty během 24 hodin

#### 4.2.2. Přesnost měření baterie

Přesnost měření napájecího napětí baterie ve snímači bylo realizováno digitálním multimetrem Agilent 34410A, který sloužil jako referenční voltmetr. Snímač byl napájen laboratorním zdrojem Agilent E3630A, na kterém bylo nastaveno napětí výstupní napětí 3,3 V. Toto napětí se postupně snižovalo o 100 mV až na hodnotu, při které přestal snímač kompletně pracovat. Minimální hodnota napájecího napětí byla zjištěna přibližně 1,45 V, což je překvapivá hodnota, neboť minimální hodnotu napětí pro použitý mikrokontrolér a rfm22 modul udávají oba výrobci shodně 1,8 V.

Hodnoty naměřené snímačem a digitálním multimetrem uvádí tab. 4.1 . Z těchto hodnot je dále vypočtena absolutní odchylka ( $x_{\Delta}$ ), která se ze vztahu (6) vypočítá jako rozdíl mezi měřenou ( $x_M$ ) a skutečnou ( $x_S$ ) hodnotou:

$$x_{\Delta} = x_M - x_S \quad (6)$$

Z těchto hodnot je patrná největší odchylka 18 mV, která je způsobena jednak nelinearitou interního ADC převodníku v použitém mikrokontroléru a jednak kvantovacím krokem omezeným na 10-bitové rozlišení.



Tabulka 4.1: Hodnoty napájecího napětí snímače

$x_s$ (V)	$x_m$ (V)	$x_\Delta$ (mV)
3,301	3,30	-1
3,199	3,20	1
3,108	3,10	-8
3,001	2,99	-11
2,900	2,89	-10
2,802	2,79	-12
2,698	2,69	-8
2,599	2,59	-9
2,498	2,48	-18
2,396	2,38	-16
2,303	2,29	-13
2,200	2,19	-10
2,105	2,09	-15
2,002	1,99	-12
1,901	1,90	-1
1,806	1,81	4
1,707	1,71	3
1,601	1,60	-1
1,508	1,50	-8

### 4.2.3. Spotřeba snímače

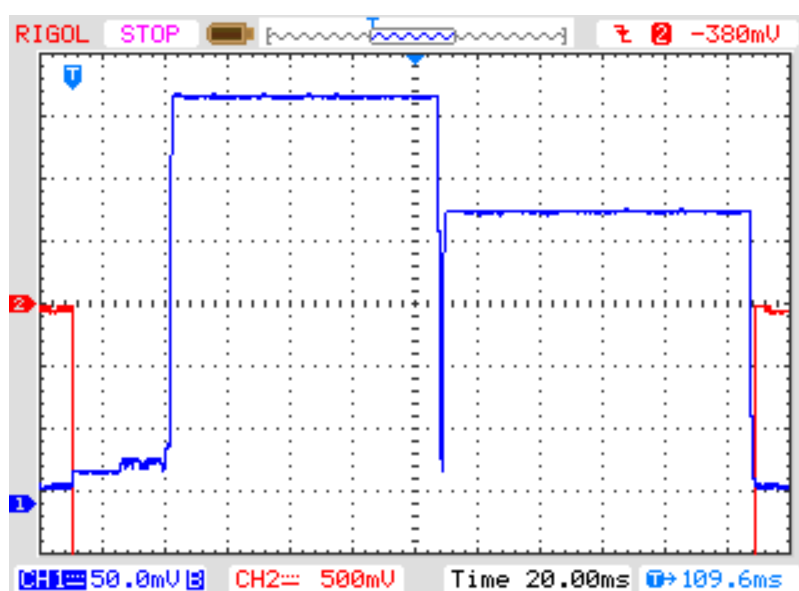
Veškerá spotřeba snímače byla měřena při referenčním napájecím napětí 3,002 V dodávaném na výstupních svorkách laboratorního zdroje Agilent E3630A. Pro měření snímače v režimu spánku byl rovněž použit digitální multimetr Agilent 34410A jako ampérmetr. Hodnota proudu v tomto režimu dosahovala hodnoty 8,7  $\mu$ A. Pro měření spotřeby v aktivním režimu bylo zapotřebí SW úpravou nastavit snímač trvale v prvním případě do režimu přijímače a v druhém případě do režimu vysílače, kde modul rf22 nepřetržitě na svém výstupu generoval nosný kmitočet 868 MHz. Tyto spotřeby udává tabulka 4.2:

Tabulka 1: Spotřeba snímače při různých režimech

Režim:	Spotřeba:
Sleep	8,7 $\mu$ A
Přijímač	23,43 mA
Vysílač	32,85 mA

Mezi snímač a napájecí napětí byl vřazen rezistor o hodnotě 10,1  $\Omega$ , který sloužil jako bočník pro zachycení obrazu spotřeby osciloskopem (obr. 4.5). Z něj je zřejmé, že snímač pracuje aktivně ve 3 režimech:

- Po probuzení z režimu spánku, kdy dochází k měření teploty a měření napětí baterie, je odběr přibližně 2 mA po dobu 30 ms.
- Následuje režim vysílání naměřených dat, kde je spotřeba přibližně 32 mA po dobu 85 ms.
- Následuje režim přijímače, kdy snímač čeká na odezvu od ústředny. Zde je spotřeba přibližně 23 mA po dobu 100 ms.



Obr. 1: Spotřeba snímače v aktivním režimu

Střední hodnota snímače v aktivním režimu vypočtená z těchto hodnot je:

$$I_{AKT} = \frac{2\text{ mA} \cdot 30\text{ ms} + 32\text{ mA} \cdot 85\text{ ms} + 23\text{ mA} \cdot 100\text{ ms}}{220\text{ ms}} \cong 22,82\text{ mA} \quad (7)$$

Celková životnost baterií ve snímači bude ovlivněna nastavenou periodou snímače. Při minimální možné periodě, která je stanovena na 1 minutu, lze očekávat střední hodnotu spotřeby:

$$I_{1m} = I_{AKT} + I_{SLEEP} = 22,82\text{ mA} \cdot 0,22\text{ s} + 8,7\text{ uA} \cdot (60\text{ s} - 0,22\text{ s}) = 5,5\text{ mA} \quad (8)$$

Následně při kapacitě AA článku 2 400 mAh stanovené z vybíjecí charakteristiky v kap. Bude životnost baterií:

$$t = \frac{2400 \text{ mA}}{5,5 \text{ mA}} \cong 436 \text{ h} \cong 18 \text{ dnů} \quad (9)$$

Obdobným způsobem bude stanovena perioda snímače, zde je ovšem nutné uvědomit si, že perioda oproti předchozímu případu je 60x delší, proto je potřeba k původní periodě přičíst 59-násobnou dobu spánku a výsledek zpětně vydělit 60:

$$I_{1h} = \frac{I_{AKT} + I_{SLEEP}}{60} \quad (10)$$

$$I_{1h} = \frac{22,82 \text{ mA} \cdot 0,22 \text{ s} + 8,7 \text{ uA} \cdot (60 \text{ s} - 0,22 \text{ s}) + 8,7 \text{ uA} \cdot 59 \text{ s}}{60} = 0,092 \text{ mA}$$

Životnost AA článků v tomto případě bude:

$$t = \frac{2400 \text{ mAh}}{0,092 \text{ mA}} \cong 26087 \text{ h} \cong 1087 \text{ dnů} \quad (11)$$

Výsledek dává teoretickou dobu provozu snímače 1 087 dní, což jsou přibližně necelé tři roky, nicméně lze očekávat, že tato hodnota bude v praxi o něco nižší, neboť životnost článků bude rovněž snížena procesem samovybíjení.

Orientačně byl změřen i odběr ústředny, který se při zapnutém podsvícení LCD a režimu přijímače pohyboval okolo 155 mA.

# ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout, sestavit a otestovat senzorovou síť, která bude sloužit pro monitorování teploty uskladněných hospodářských komodit. Hlavním účelem, jak plyne z povahy těchto látek, je včasné upozornění před možným nebezpečím samovznícení. Bylo nutné seznámit se s problematikou procesu samovznícení a seznámit se s povahou uskladňovaných látek a možnými požárními riziky. Dále byla zaměřena pozornost na dostupnost prostředků nabízených na trhu. Z toho vyplynulo, že podobný systém zatím trh nenabízí.

Na základě těchto poznatků byl proveden návrh systému. Ten je tvořen hlavní jednotkou a několika bezdrátově komunikujícími snímači založených na 8-bitových mikrokontrolérech. Součástí návrhu by měl být i jednoduchý webový terminál pro vzdálený dohled. Hlavním požadavkem snímačů byla co nejmenší spotřeba. V závislosti na zvolené periodě měření snímačů lze očekávat dobu provozu až několik let. Dále byl vysvětlen princip komunikace mezi snímači a hlavní jednotkou.

Při ožiování bylo zjištěno nadměrné zahřívání modulu Xport, což je bohužel jeho vlastnost. Bude dovybaven kouskem hliníkového chladiče připevněného pomocí ocelové spony.

Přestože byly obvody RTC a EEPROM osazeny, nedošlo zatím k jejich oživení. Je možné, že k jejich využití nedojde, neboť se nabízí ukládání a archivace dat přímo na webový server.

Z časových důvodů byly zatím sestaveny dva kompletní snímače, přičemž k jednomu byla kompletně sestavena mechanická konstrukce jako funkční vzorek. Pro otestování funkce a bezkoliznosti systému toto postačuje. Je v plánu provozovat šest snímačů, přitom je přidána možnost rozšíření o další dva na celkový počet osmi snímačů. Limitujícím faktorem je vyčerpaná kapacita LCD displeje, kde by při větším množství musel být buď zredukován počet zobrazených informací nebo vytvořeno přepínání mezi obrazovkami.

# LITERATURA

- [1] POŽÁRNÍ ŘÁD. *Guard7.cz* [online]. [cit. 10.12.2017]. Dostupné z: [http://www.guard7.cz/files/dokumentace/vzor\\_dokumentace\\_PO/pozarni\\_rady/stodola.pdf](http://www.guard7.cz/files/dokumentace/vzor_dokumentace_PO/pozarni_rady/stodola.pdf)
- [2] Farmex HT-PRO . *Epristroje.cz* [online]. Copyright © [cit. 10.12.2017]. Dostupné z: [https://www.epristroje.cz/zemedelske\\_vlhkomery-farmex\\_farmex\\_htpro\\_teplomervlhkomer\\_pro\\_seno\\_senaz\\_a\\_slamu\\_meric\\_vlhkosti\\_baliku-152396365-891642368-zemedelske-teplomery/](https://www.epristroje.cz/zemedelske_vlhkomery-farmex_farmex_htpro_teplomervlhkomer_pro_seno_senaz_a_slamu_meric_vlhkosti_baliku-152396365-891642368-zemedelske-teplomery/)
- [3] TME Radio: Bezdrátový měřič teploty a vlhkosti. *Papouch.cz* [online]. Copyright © [cit. 10.12.2017]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/shop/product/tme-radio-bezdratovy-meric-teploty-a-vlhkosti/>
- [4] ČTÚ: Využívání vymezených rádiových kmitočtů. *Český telekomunikační úřad* [online]. [cit. 10.12.2017]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/ctuinformuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezenych-radiovychkmitoctu.html>
- [5] TSS Group s.r.o.. *TSS Group s.r.o.* [online]. Copyright © 2004 [cit. 17.04.2018]. Dostupné z: <https://www.tssgroup.cz/item/jaky-je-rozdil-mezi-pouzitim-frekvence-433mhz-a-868-mhz/>
- [6] Universal C library for KS0108 based LCD displays - AVR AT91 LPC2100 STM32. *en.radzio.dxp.pl - electronics and programming* [online]. Dostupné z: <http://en.radzio.dxp.pl/ks0108/>
- [7] DS7505 datasheet. *Maximintegrated.com* [online]. Copyright © 2015 [cit. 19.08.2018]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS7505.pdf>
- [8] Atmega88A datasheet. *Tme.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/6c43f7fc576822a966339576b42b0c2e/ATmegaxx8A-328P-DTE.pdf>
- [9] Atmega128A datasheet. *Tme.cz* [online]. Copyright © [cit. 19.08.2018]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/6f0ea989a96767812246128a8a5a2262/ATmega128-DTE.pdf>
- [10] Xport. *Lantronix.com* [online]. Copyright © [cit. 19.08.2018]. Dostupné z: [http://www.lantronix.com/wp-content/uploads/pdf/XPort\\_DS.pdf](http://www.lantronix.com/wp-content/uploads/pdf/XPort_DS.pdf)
- [11] RFM22 Datasheet. *Sparkfun.com* [online]. Copyright © 2015 [cit. 19.08.2018]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/RFM22.PDF>
- [12] *NXP Semiconductors | Automotive, Security, IoT* [online]. Copyright ©c [cit. 19.08.2018]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8563.pdf>

[13] *Microchip | Serial EEPROMs* [online]. Copyright © [cit. 19.08.2018]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21189f.pdf>

[14] *Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments – TI.com* [online]. Copyright ©S [cit. 19.08.2018]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2675.pdf>

[15] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*. 6. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 9788072323838.

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<i>ACK</i>	Acknowledge, potvrzení
<i>ADC</i>	Analog to Digital Convertor, analogově digitální převodník
<i>CRC</i>	Cyclic Redundancy Check, druh kontrolního součtu
<i>FIFO</i>	First In, First Out, druh paměti
<i>FSK</i>	Frequency Shift Keying, frekvenční klíčování
<i>FSTN</i>	Film compensated Super Twisted Nematic, druh zobrazení displejů
<i>GFSK</i>	Gaussian Frequency Shift Keying, Gaussova varianta frekvenčního klíčování
<i>HTML</i>	Hyper Text Markup Language, druh hypertextového jazyka
<i>I2C</i>	Inter Integrated Circuit, druh sběrnice
<i>IP</i>	IP Address, identifikace síťového zařízení
<i>ISM</i>	Industrial Scientific Medical, bezlicenční pásmo pro průmysl, vědu a lékařství
<i>ISP</i>	In System programming, programování sériovou sběrnicí
<i>LSB</i>	Least Significant Bit, bit s nejnižší vahou
<i>MAC</i>	MAC Address, adresa zařízení v lokální síti
<i>MCU</i>	MicroController Unit, mikrokontrolér
<i>MSB</i>	Most Significant Bit, bit s nejvyšší vahou
<i>OOK</i>	On-Off Keying, On-Off klíčování
<i>RFM</i>	Radio Frequency Module, rádiový komunikační modul
<i>RTC</i>	Real Time Clock, hodiny reálného času
<i>SMD</i>	Surface Mounted Device, povrchová montáž součástek
<i>SPI</i>	Serial Peripheral Interface, sériové periferní rozhraní
<i>UART</i>	Universal Asynchronous Receiver / Transceiver, druh sběrnice

# **SEZNAM PŘÍLOH**

**A.1 Schéma zapojení snímače**

**A.2 Deska plošného spoje snímače – bottom**

**A.3 Osazovací výkres snímače - bottom**

**A.4 Schéma zapojení měřící ústředny**

**A.5 Deska plošného spoje ústředny – top**

**A.6 Deska plošného spoje ústředny – bottom**

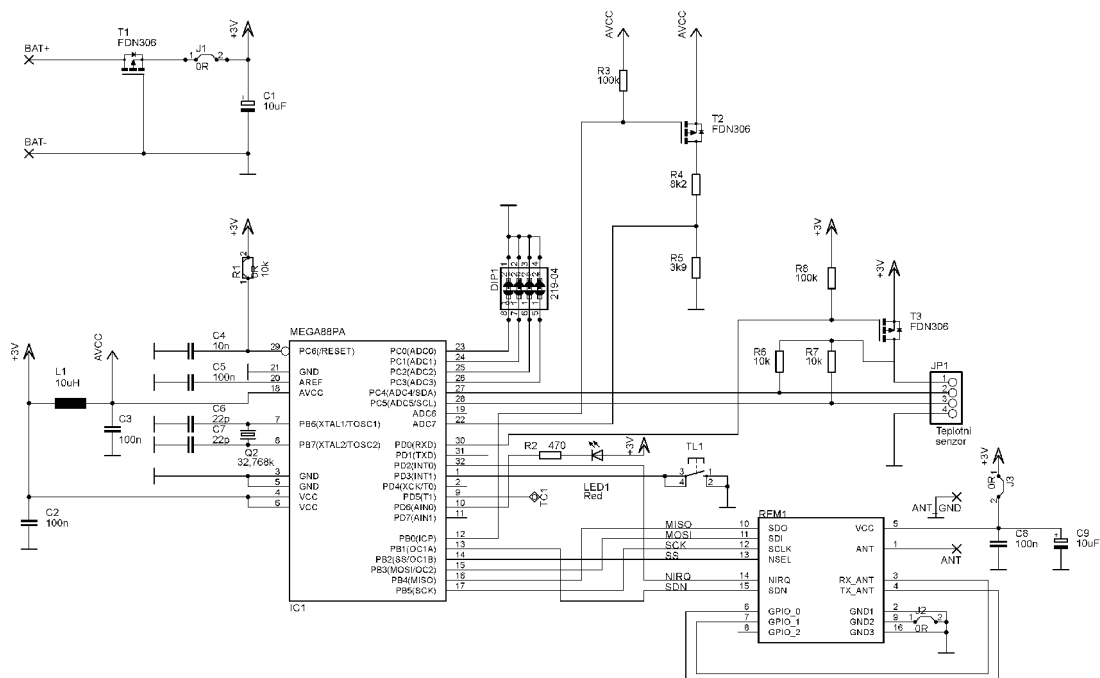
**A.7 Osazovací výkres ústředny – top**

**A.8 Osazovací výkres ústředny – bottom**

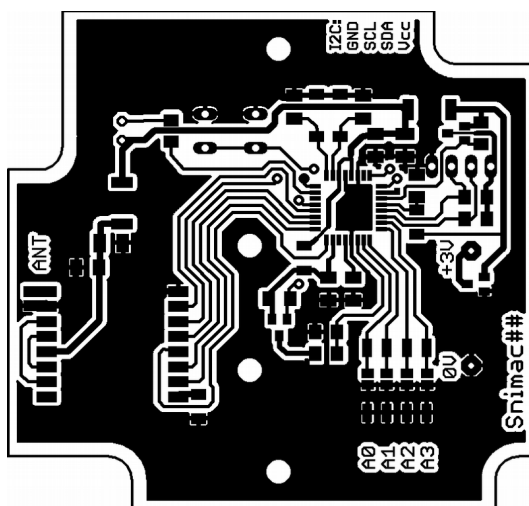


## A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

## A.1 Schéma zapojení snímače

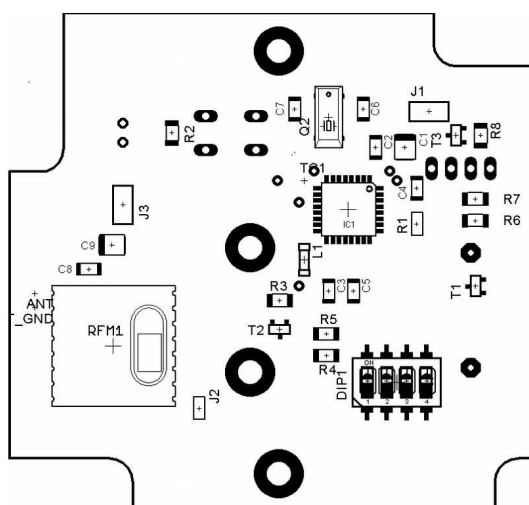


## A.2 Deska plošného spoje snímače – bottom

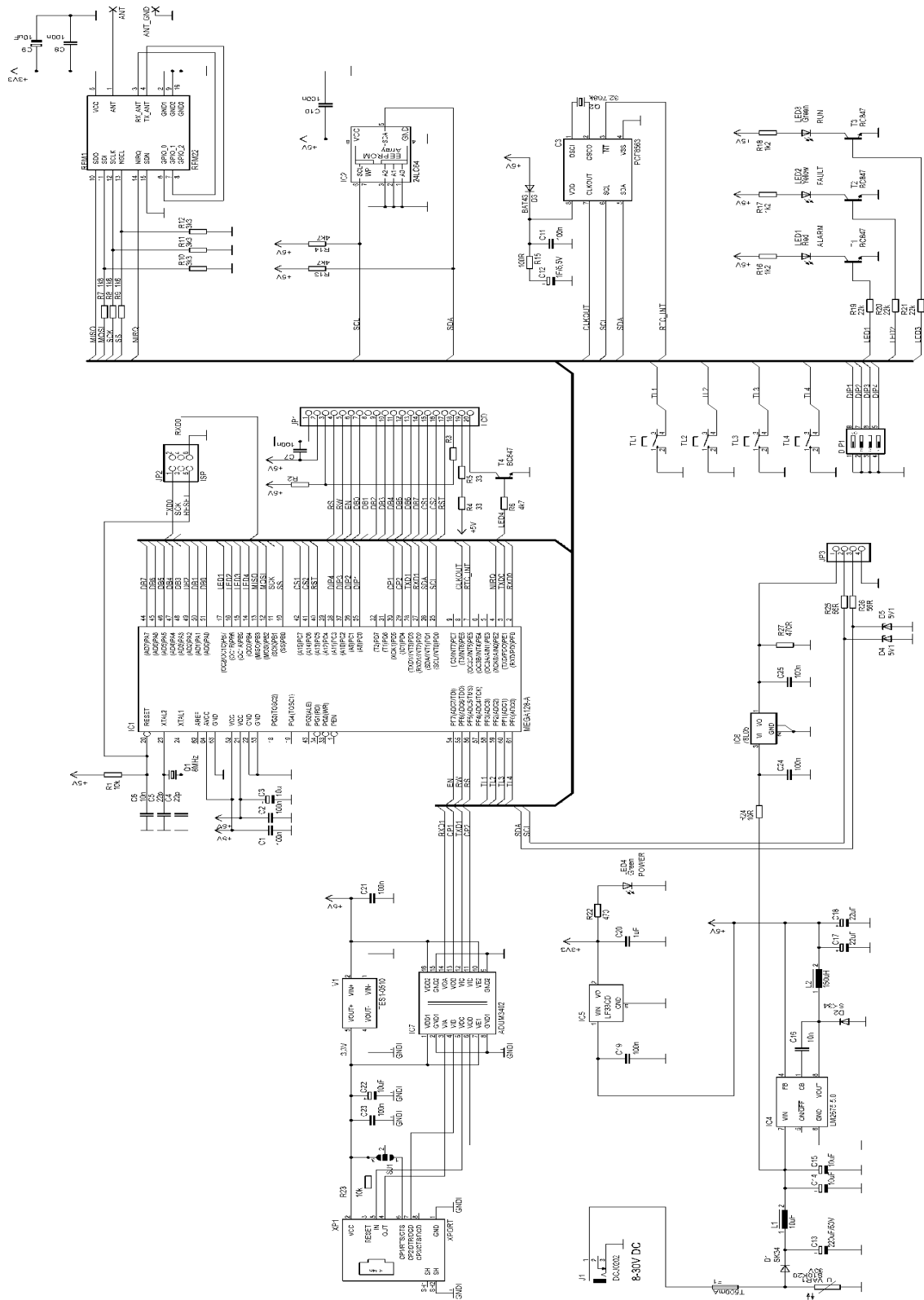


Rozměr desky 70 x 66 [mm], měřítko M1:1

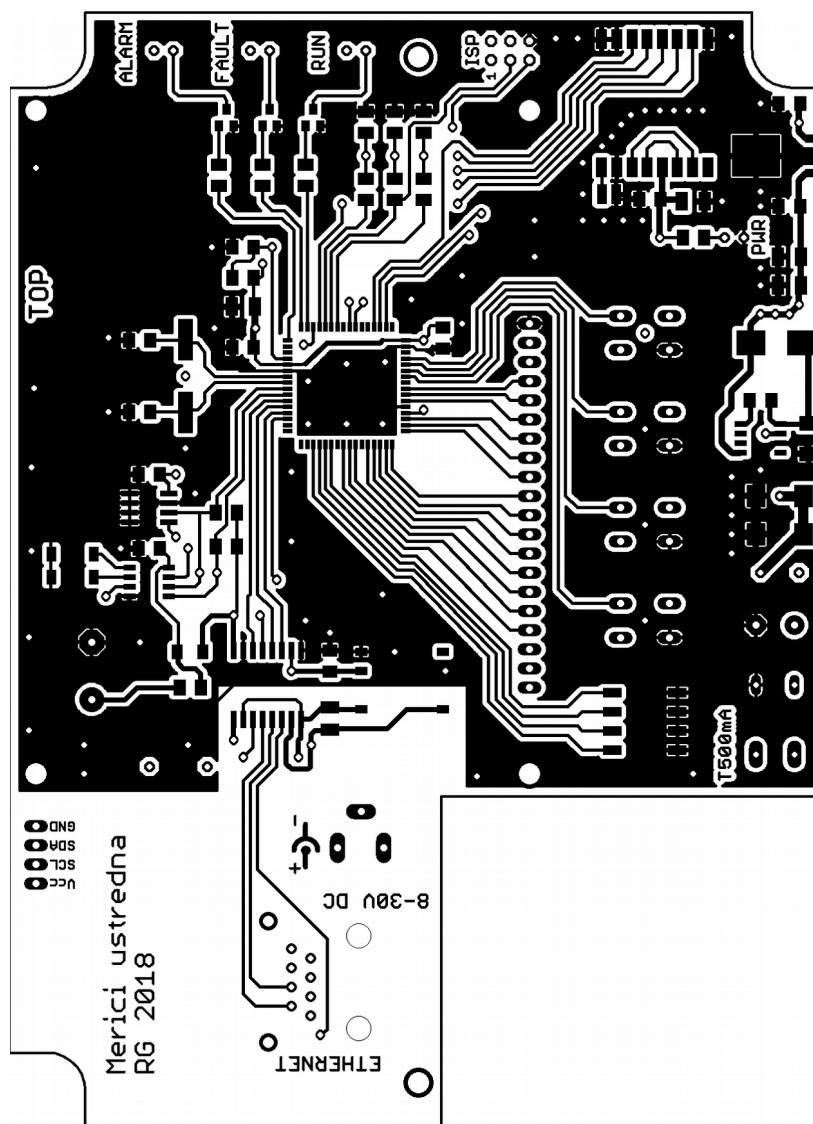
## A.3 Osazovací výkres snímače - bottom



## A.4 Schéma zapojení měřicí ústředny

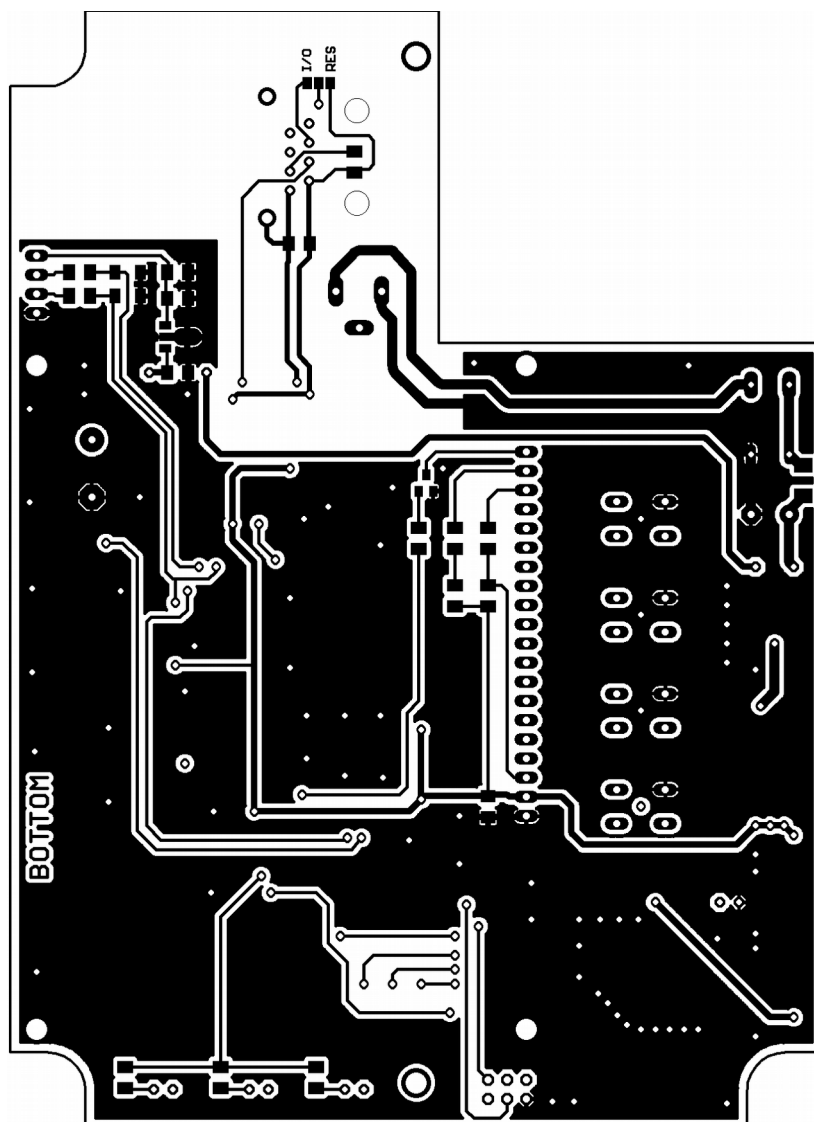


## A.5 Deska plošného spoje ústředny – top



Rozměr desky 108 x 148 [mm], měřítko M1:1

## A.6 Deska plošného spoje ústředny – bottom



Rozměr desky 108 x 148 [mm], měřítko M1:1

